

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Estudo de sistemas passivos de conforto térmico: aplicação ao Mercado do Bom Sucesso

Tese de Mestrado

de

Pedro Filipe Milhinhos Carrapiço

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

CIN, S.A e Mota-Engil Engenharia



Orientador na FEUP: Prof. Adélio Mendes

Orientador na CIN: Doutora Joana Pimenta



Departamento de Engenharia Química

fevereiro de 2014

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Adélio Mendes, por me ter permitido realizar a dissertação em duas áreas de que gosto particularmente: simulação computacional e eficiência energética.

À Doutora Joana Pimenta, minha orientadora empresarial, e à Iracema Belinha pelo tempo e apoio despendido neste projeto.

À Eng^a. Diana Dias pelo elevado número de e-mails trocados, fundamentais para a aprendizagem do software e sem os quais este projeto estaria bastante comprometido.

À Eng^a. Maria João Veiga por todo o apoio prestado na Mota-Engil e todos os conselhos dados ao longo de todo o projeto.

Aos elementos do Centro de Investigação e Desenvolvimento da empresa CIN, SA e do gabinete de projeto da Mota-Engil Engenharia por terem contribuído para um bom ambiente de trabalho e toda a ajuda que me prestaram.

À minha colega e acima de tudo amiga Florisa Pereira por todos os minutos despendidos a ouvir os meus desabaços e por todas as palavras de incentivo e apoio que me prestou não apenas nos últimos meses mas nos últimos anos.

Ao Sérgio Pinto pela ajuda, apoio e acima de tudo paciência que teve para me ajudar em algumas questões relacionadas com o projeto.

À minha irmã por ser a amiga ausente sempre presente e por me alegrar sempre que é preciso.

Aos meus pais e avós, por serem os responsáveis por quem sou hoje, e por todos os pequenos e grandes sacrifícios que fizeram, nunca me cortando o sonho de “voar mais alto”, que me permitiram chegar a este momento.

Agradeço a todos os meus amigos por se mostrarem sempre disponíveis por me ajudar e ouvir.

A todas as pessoas que diretamente ou indiretamente contribuíram para este trabalho e que não esteja aqui referidas, o meu mais sincero obrigado.

Resumo

O Mercado do Bom Sucesso (MBS) é uma obra de arquitetura modernista inaugurada em 1952, constituindo um marco na cidade do Porto. Todavia foi encerrado em 2011 para obras de requalificação e nesse mesmo ano recebeu a classificação de monumento de Interesse Público, o que impede alterações na sua estrutura/arquitetura independentemente do tipo de utilização atribuída. O Mercado do Bom Sucesso reabriu ao público em 2013 com novas valências (hotel, escritórios e lojas *gourmet*), obrigando à consideração de outros princípios de conforto térmico. Aquando da sua reabilitação foram utilizados e substituídos vários materiais, no sentido de enquadrar o edifício nas práticas atuais. Contudo, considera-se a possibilidade de melhorar o seu conforto térmico através de soluções que não envolvam alterações estruturais.

O conforto térmico é definido como “o estado de espírito em que o indivíduo expressa satisfação em relação ao ambiente térmico”. O intervalo de temperatura para obtenção de conformo térmico habitualmente aceita situa-se entre 20 °C e 23 °C, no inverno e entre 22,5 °C e 26 °C, no verão [1].

As soluções consideradas foram analisadas através de simulação computacional usando a aplicação informática ESP-r. Inicialmente procedeu-se à modelação do MBS no referido programa, tendo sido necessário a introdução de: geometria, materiais de construção, renovações de ar interior e ganhos energéticos próprios. Através das simulações efetuadas verificou-se que nas condições atuais o MBS apresenta um baixo conforto térmico, sendo que nos meses de dezembro a fevereiro, a temperatura no interior no mercado é superior a 20 °C apenas em cerca de 5 % do tempo em que o MBS se encontra aberto ao público. Assim torna-se evidente a necessidade de estudar a aplicação de soluções de conforto térmico no Mercado do Bom Sucesso. Foram consideradas várias soluções como redução/controlo das renovações de ar do interior (portas-automáticas e controlo do grau de aberturas das grelhas existentes), controlo da entrada da radiação solar (tela, películas e tintas refletoras) e uso de materiais capacitivos (materiais com mudança de fase).

Concluiu-se que o controlo das renovações de ar é o aspeto mais importante no controlo do conforto térmico do MBS, em especial no período de inverno. Apesar da aplicação de outras soluções, como o uso de uma tela interior e o uso películas semitransparente aplicadas nas janelas, terem revelado uma influência menor no conforto térmico do MBS, a combinação de várias destas soluções com o controlo da renovação do ar demonstrou ser uma aproximação bastante eficaz na obtenção de um elevado nível de conforto térmico.

Palavras-chave:

Mercado do Bom Sucesso, ESP-r, simulação computacional, conforto térmico

Abstract

The Mercado do Bom Sucesso (MBS) is a masterpiece of modernist architecture, inaugurated in 1952 and representing a landmark of Porto city. However, it was closed in 2011 for redevelopment works and, on that same year, received the mark of Public Interest Monument, preventing changes on its structure/architecture regardless of its assigned use. The MBS reopened to the public in 2013 with new features (hotel, offices and gourmet shops), requiring to take into consideration other thermic comfort principles. During its rehabilitation, various materials were used and replaced, in order to match the building to current practices. Nevertheless, it is considered the possibility to improve its thermal comfort through solutions that do not involve structural changes.

Thermic comfort is defined as “the state of mind in which an individual expresses satisfaction in his relation with his environment temperature”. The thermic comfort range commonly accepted is between 20 °C and 23 °C in the winter and between 22,5 °C and 26 °C in the summer [1].

The considered solutions were analysed by computer simulation using software ESP-r. Began by modelling the MBS on the mentioned software, adding the necessary parameters: geometry, construction materials, indoor air renewal and self-energetic gains. Through the simulations, it was found that under current conditions the MBS has a low thermal comfort, and from December to February the temperature inside the market is above 20 °C in only about 5 % of the time in which the MBS is open to the public.

Therefore it becomes clear the need to study the use of thermic comfort solutions in the Mercado do Bom Sucesso. Several solutions were considered such as reduction/control of indoor air exchanges (automatic doors and control of opening level of existing grids), solar radiation entry control (sunblind, window film and reflective paint) and the use of capacitive material (phase change materials).

It was concluded that the air exchanges control is the most relevant aspect in controlling the thermic comfort of the MBS, especially during winter. Despite the implementation of other solutions, like an inner sunblind and window film, that revealed a minor influence on the thermic comfort of MBS, the combination of several of these solutions with the air renewal control proved to be a very effective approach in achieving a high level of thermic comfort.

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Porto, ____ de _____ de 2014

(Pedro Filipe Milhinhos Carrapiço)

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação e Enquadramento do Projeto.....	1
1.2	Apresentação da Empresa	3
1.3	Contributos do Trabalho.....	3
1.4	Organização da Tese	4
2	Contexto e Estado da Arte	5
2.1	Conforto Térmico	5
2.2	Conforto Térmico: Método de Fanger.....	5
2.2.1	Voto de Conforto Térmico - PMV	6
2.2.2	Percentagem de pessoas insatisfeitas - PPD	6
2.3	Soluções de conforto térmico - história	6
2.4	Simuladores térmicos computacionais	10
2.4.1	ESP-r - Environmental System Performance - Research.....	11
2.4.2	TRNSYS - Transient System Simulation Program.....	12
2.4.3	DesignBuilder	12
3	Descrição Técnica.....	14
3.1	Seleção do simulador informático	14
3.2	Modelação	14
3.2.1	Definição de zonas.....	16
3.2.2	Fachadas.....	17
3.2.3	Ganhos Internos	18
3.2.4	Ventilação	18
3.2.5	Climatização	19
3.2.6	Radiação solar	19
3.2.7	Condições de conforto térmico.....	19
3.3	Dados meteorológicos.....	19
3.4	Validação do modelo	21

4	Resultados e discussão	24
4.1	SR - Situação de referência	24
4.2	Soluções de controlo das renovações de ar	27
4.2.1	PA - Portas-automáticas	27
4.2.2	PAFT - Portas-automáticas em função da temperatura	29
4.2.3	PAMFT - Portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos em função da temperatura	31
4.2.4	PAMCFT - Portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos e cobertura em função da temperatura	33
4.2.5	Comparação	35
4.3	Soluções que não envolvem o controlo das renovações de ar	37
4.3.1	TL - Tela	37
4.3.2	P - Película	39
4.3.3	ETIC's, Tintas e PCM.....	41
4.3.4	Comparação	41
4.4	Soluções combinadas de conforto térmico.....	43
5	Conclusões	45
5.1	Limitações e Trabalho Futuro	46
5.2	Avaliação Final	47
6	Referências	48
Anexo 1	Propriedades das zonas modeladas.....	50
Anexo 2	Fachadas.....	54
Anexo 3	Perfil de cargas térmicas	55
Anexo 4	REA - Rede de escoamento de ar	57
Anexo 5	Distribuição de radiação solar	58

Índice de Figuras

<i>Figura 1 - Interior do MBS - Anos 90</i>	<i>1</i>
<i>Figura 2 - Representação tridimensional do projeto de requalificação do MBS</i>	<i>2</i>
<i>Figura 3 - Evolução das tipologia de paredes em Portugal</i>	<i>8</i>
<i>Figura 4 - Localização do MBS e sua envoltória</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5 - Plantas do MBS (a - piso -2 / -1, b - piso 0; c - piso 1; d - cobertura)</i>	<i>15</i>
<i>Figura 6 - Modelação da estrutura do MBS em ESP-r (a - piso 0, b - piso 1; c - cobertura).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 7 - Dados de temperatura anuais obtidos pelo simulador ESP-r</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8 - Dados obtidos pelo simulador ESP-r e pelas sondas - validação do modelo.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 9 - História anual da temperatura para a situação de referência - SR</i>	<i>25</i>
<i>Figura 10 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para a situação de referência - SR</i>	<i>26</i>
<i>Figura 11 - História anual da temperatura para os casos PA e SR</i>	<i>28</i>
<i>Figura 12 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de PA.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 13 - História anual da temperatura para os casos PAFT e SR.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 14 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de PAFT.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 15 - História anual da temperatura para os casos PAMFT e SR.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 16 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de PAMFT</i>	<i>33</i>
<i>Figura 17 - História anual da temperatura para os casos PAMCFT e SR</i>	<i>34</i>
<i>Figura 18 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de PAMCFT.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 19 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de soluções de controlo das renovações de ar</i>	<i>35</i>
<i>Figura 20 - Temperatura média mensal para as soluções de controlo de renovações de ar</i>	<i>35</i>
<i>Figura 21 - Representação esquemática das entradas e saídas de ar do MBS</i>	<i>37</i>
<i>Figura 22 - História anual da temperatura para os casos TL e SR</i>	<i>38</i>
<i>Figura 23 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de TL</i>	<i>39</i>
<i>Figura 24 - História anual da temperatura para os casos P e SR.....</i>	<i>40</i>

<i>Figura 25 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de P</i>	40
<i>Figura 26 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de soluções não controladoras de renovações de ar</i>	42
<i>Figura 27 - Temperatura média mensal para soluções não controladores de renovações de ar</i>	43
<i>Figura 28 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso de soluções conjuntas</i>	44
<i>Figura 29 - Temperatura média mensal para as soluções conjuntas</i>	44
<i>Figura 30 - Representação esquemática da modelação da cobertura</i>	52
<i>Figura 31 - Representação esquemática da modelação do piso 1</i>	52
<i>Figura 32 - Representação esquemática da modelação do piso 0</i>	52
<i>Figura 33 - Representação esquemática da modelação das zonas complementares</i>	53
<i>Figura 34 - Perfil de cargas térmicas definido para centro comercial</i>	55
<i>Figura 35 - Perfil de cargas térmicas definido para restauração</i>	55
<i>Figura 36 - Perfil de cargas térmicas definido para pequeno comércio</i>	56
<i>Figura 37 - Perfil de cargas térmicas definido para mercado de frescos</i>	56

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 - Valores de PMV e sensação térmica associada</i>	6
<i>Tabela 2 - Atual constituição do MBS</i>	15
<i>Tabela 3 - Caracterização das zonas do MBS</i>	16
<i>Tabela 4 - Dados da modelação referentes aos átrios</i>	17
<i>Tabela 5 - Análise mensal dos dados meteorológicos obtidos pelo simulador ESP-r</i>	20
<i>Tabela 6 - Limites de temperatura para conforto térmico considerados</i>	24
<i>Tabela 7 - Áreas das portas e grelhas existentes no MBS</i>	25
<i>Tabela 8 - Propriedades do controlador considerado para PAFT</i>	30
<i>Tabela 9 - Propriedade do controlador considerado para PAMFT</i>	32
<i>Tabela 10 - Propriedade do controlador considerado para PAMCFT</i>	34
<i>Tabela 11 - Radiação total transmitida através dos vãos envidraçados com película</i>	39
<i>Tabela 12 - Propriedades do PCM considerado</i>	41

<i>Tabela 13 - Classificação e caracterização das zonas da cobertura e piso 1</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 14 - Classificação e caracterização das zonas do piso 0 e complementares.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 15 - Dados referentes à rede de escoamento de ar criada na modelação do MBS</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 16 - Distribuição de radiação solar no átrio do piso 0 e 1</i>	<i>58</i>

Notação e Glossário

T Temperatura °C

Lista de Siglas

ASHRAE	American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
CIN	Corporação Industrial do Norte
ESP-r	Environmental System Performance – Research
ETIC's	External thermal insulation composite system
LICT	Limite inferior de conforto térmico
LSCT	Limite superior de conforto térmico
MBS	Mercado do Bom Sucesso
MIP	Monumento de interesse público
P	Película
PA	Portas-automáticas
PAFT	Portas-automáticas em função da temperatura
PAMCFT	Portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos e cobertura em função da temperatura
PAMFT	Portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos em função da temperatura
PAMFT +P	Portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos em função da temperatura e película
PAMFT +TL	Portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos em função da temperatura e tela
PCM	Phase Changing Materials
PMV	Voto de conforto térmico

PPD	Percentagem de pessoas insatisfeitas
REA	Rede de escoamento de ar
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SR	Situação de referência
TL	Tela
Trasys	Transient System Simulation Program

1 Introdução

1.1 Motivação e Enquadramento do Projeto

O Mercado do Bom Sucesso (MBS) foi projetado em 1949 e inaugurado em 1952 e constitui um dos edifícios icónicos da cidade do Porto. Foi planeado a pedido da Câmara Municipal do Porto na sequência da construção do Mercado Municipal de Matosinhos. Este mercado tinha uma área de 10 000 m² divididos em 3 pisos de forma a aproveitar o declive natural do terreno (Figura 1) [2].



Figura 1 - Interior do MBS - Anos 90 [3]

O Mercado do Bom Sucesso foi edificado num local fulcral do comércio tradicional do Grande Porto e constituiu durante vários anos um importante espaço da zona oeste da cidade. Contudo, devido à evolução da própria sociedade portuense e associado à construção de outras superfícies comerciais nas proximidades, o mercado foi perdendo visitantes e lojistas. Tornou-se por isso imperativo a sua remodelação e requalificação para que o espaço readquirisse a vivacidade que conheceu no passado. O Mercado do Bom Sucesso foi encerrado em 2011 para obras de remodelação. No mesmo ano foi classificado pelo Ministério da Cultura e pelo Igespar como Monumento de Interesse Público (MIP). A classificação do edifício como MIP “fundamenta-se no seu valor arquitetónico, enquanto exemplar notável da arquitetura modernista dos anos 50, no seu valor urbanístico e sociocultural, enquanto edifício de referência na paisagem urbana da cidade do Porto e na vivência da população, constituindo um espaço privilegiado de encontro de gerações e classes sociais” [3]. A classificação do MBS visa assegurar a sua proteção e valorização cultural, evitando a sua degradação. Contudo, a classificação limita a realização de obras, impossibilitando a execução de alterações na

estrutura/arquitetura do edifício, sendo que qualquer alteração está dependente da aprovação pelo Igespar. Esta situação origina a necessidade de encontrar soluções não convencionais para obter conforto térmico no seu interior de forma a preservar as suas características arquitetónicas [4].

O edifício foi reinaugurado em 2013, (Figura 2) com uma área total de 13 500 m² contando com novos atrativos: o Hotel da Música (hotel de 4 estrelas com 85 quartos) e a sede da Fundação Manuel António da Mota à qual se associa uma galeria de exposições e um anfiteatro. Após a requalificação, fazem ainda parte do MBS várias lojas e bancas, um mercado de frescos e zonas destinadas a escritórios [2] [5].



Figura 2 - Representação tridimensional do projeto de requalificação do MBS [5]

A requalificação e as novas utilizações do MBS elevaram os padrões de conforto térmico a considerar para este espaço, surgindo assim a oportunidade de melhorar as condições térmicas existentes no interior do mesmo, apesar das beneficiações implementadas durante o processo de requalificação. Devido à classificação do MBS, impossibilitando qualquer alteração das características arquitetónicas intrínsecas ao edifício, a implementação das soluções mais comuns (isolamento térmico, vidros duplos, sistemas AVAC) está condicionada ou severamente limitada. Surge a necessidade de considerar soluções alternativas às comumente usadas, sendo escolhidas soluções passivas não construtivas, ou seja, soluções que não impliquem o consumo de energia elétrica e que cuja implementação não implique a alteração das características arquitetónicas do edifício.

Com este projeto procurou-se, com recurso ao programa computacional ESP-r, modelar o MBS e estudar a implementação de soluções passivas não construtivas e determinar os seus efeitos

na melhoria do conforto térmico do MBS. A escolha por este tipo particular de soluções resulta não só das limitações associadas à classificação como MIP mas também da crescente preocupação ambiental associada à eficiência energética.

Assim este trabalho tem como principal objetivo o estudo da aplicação de soluções passivas que promovam o aumento do conforto térmico no Mercado do Bom Sucesso, focalizando-se na zona correspondente ao átrio.

1.2 Apresentação da Empresa

Este projeto foi desenvolvido em parceria protocolar entre a empresa CIN - Corporação Industrial do Norte, SA e a empresa Mota-Engil Engenharia.

A empresa Mota-Engil Engenharia é líder em Portugal e com uma posição destacada em diversos mercados da Europa, África e América Latina, constando em 33º lugar no ranking das 50 maiores grupos europeus de construção civil. Tem como principal atividade a construção civil e obras públicas, destacando-se na construção de infraestruturas diversas como estradas, autoestradas, aeroportos, portos, barragens, edifícios, ferrovia, eletromecânica, fundações e geotecnia, entre outras especialidades [5].

O Grupo CIN é um dos principais intervenientes no mercado das tintas, liderando o mercado nacional desde 1992 e o ibérico desde 1995. A CIN posiciona-se atualmente no 48º lugar do Coating World, ranking mundial de produtores de tintas e vernizes.

A CIN, cuja principal atividade consiste no fabrico e comércio de tintas e vernizes tem a sua estrutura operacional dividida em cinco segmentos - Decorativos, Indústria, Repintura Automóvel, Proteção Anticorrosiva e Acessórios [6].

1.3 Contributos do Trabalho

A simulação computacional térmica de edifícios é um processo bastante utilizado atualmente sendo obrigatório por lei a realização de simulação térmica para o projeto de edifícios climatizados com uma área superior a 10 000 m². Contudo a sua aplicação a edifícios já existentes de forma a determinar a influência de determinadas alterações no comportamento térmico do edifício é menos usual, sendo essa a principal componente de inovação deste projeto. A empresa Mota-Engil apresenta interesse em avaliar a influência da aplicação de determinadas soluções no MBS em termos de conforto térmico. A CIN constitui um possível fornecedor à Mota-Engil de soluções construtivas para melhoria de conforto térmico (tintas refletoras e isolamento térmico pelo exterior).

1.4 Organização da Tese

A dissertação encontra-se organizada em 6 capítulos principais. O primeiro capítulo corresponde à introdução, onde é apresentado o Mercado do Bom Sucesso e a problemática em estudo neste projeto.

No segundo capítulo é apresentado o Estado da Arte, composto pelo estudo da evolução do conceito de conforto térmico e das técnicas desenvolvida para a obtenção do mesmo. No capítulo 3, constituído pela descrição técnica, são referidas todas as considerações realizadas no decorrer do projeto.

No capítulo seguinte são discutidos os resultados obtidos, estando estes divididos em 3 secções com base nas propriedades de cada solução a analisar.

O quinto e sextos capítulos são constituídos, respetivamente, pela conclusão e bibliografia.

2 Contexto e Estado da Arte

2.1 Conforto Térmico

Segundo a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), o conforto térmico é definido como “o estado de espírito em que o indivíduo expressa satisfação em relação ao ambiente térmico” [1]. Esta definição genérica e abstrata não permite quantificar o conforto térmico de um determinado espaço. As normas seguintes especificam as condições ambientais que favorecem o conforto térmico e a forma de as quantificar:

- ISO 7730/05 - Ambientes térmicos moderados

Descreve como determinar a sensação térmica e o grau de desconforto térmico de indivíduos expostos a ambientes térmicos moderados. Especifica as condições térmicas aceitáveis para obtenção de conforto [7].

- ASHRAE *Standart* 55/204 - Ambiente térmicos

Especifica as condições ambientais aceitáveis para ambientes interiores projetados para ocupação humana durante períodos superiores a 15 minutos e para pressões equivalentes à sentida em altitudes superiores a 3 m de altitude [7].

- BS EN 27243 - Ambientes industriais

Descreve como determinar o índice de Temperatura de Globo Húmido - WBGT. Método maioritariamente aplicado em ambientes fabris, permitindo calcular e avaliar o *stress* térmico a que funcionários estão sujeitos [8].

2.2 Conforto Térmico: Método de Fanger

O Método de Fanger é referido como um modelo estático e assume que o conforto térmico é calculado apenas através de balanços de energia e massa entre o meio e o corpo humano. Este método, desenvolvido em 1970 e referido na ISO 7730, permite quantificar o conforto térmico de um dado espaço. Este método representa o corpo humano como uma máquina térmica autorregulável. Desta forma considera-se que, para o ser humano estar termicamente confortável, não deve apresentar uma sensação térmica nem de frio nem de calor (deve estar em equilíbrio com o meio ambiente).

É um método de fácil implementação onde se consideram apenas 6 variáveis: quatro ambientais e dois fatores pessoais [7]. As quatro variáveis ambientais; temperatura do ar, temperatura média radiante, humidade relativa e velocidade do ar são grandezas físicas e portanto

facilmente mensuráveis. Os restantes fatores pessoais; nível de atividade metabólica e nível de isolamento do vestuário, variam de indivíduo para indivíduo e de situação para situação, podendo apenas ser estimados. Estes dois parâmetros são estimados com base em tabelas onde são especificados quais os níveis de atividade metabólica para cada atividade física e os níveis de isolamento para cada tipo de vestuário.

2.2.1 Voto de Conforto Térmico – PMV

Este parâmetro corresponde à relação entre o fator de acumulação térmica, parâmetro numérico calculado pelo método de Fanger e a sensação térmica, ou seja, como o estado psicológico do ser humano em ambiente térmico. O PMV é classificado em 7 níveis de sensação térmica, como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de PMV e sensação térmica associada

PMV	Sensação Térmica
+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente Quente
0	Neutro
-1	Ligeiramente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

2.2.2 Percentagem de pessoas insatisfeitas - PPD

Determinado o parâmetro PMV é possível determinar a fração de pessoas desconfortáveis termicamente, PPD. Este parâmetro indica a fração de pessoas que, para determinado PMV, se encontram desconfortáveis com o ambiente térmico do meio [7].

De salientar que, mesmo em condições de $PMV = 0$ (ambiente com uma sensação térmica neutra), o método assume que existem sempre 5 % de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas do meio.

2.3 Soluções de conforto térmico - história

O ser humano, ao contrário da restante vida animal, apresenta baixa adaptabilidade às alterações do meio envolvente. Contudo, este é o animal com maior distribuição geográfica,

devendo-se este facto à sua capacidade para recriar as condições necessárias à sua existência, independentemente da sua baixa adaptabilidade.

Desde os primórdios que o ser humano sentiu a necessidade de se resguardar das condições climatéricas extremas, inicialmente recorrendo a abrigos como cavernas e à utilização de pele de animais como vestuário.

Com a evolução do Homem, a capacidade construtiva deste também evoluiu, permitindo o desenvolvimento de habitações com melhores condições de conforto térmico.

No século VI a.C. foram construídos os Jardins Suspensos da Babilónia. A construção deste monumento arquitetónico, considerado como uma das 7 maravilhas do mundo antigo, não teria apenas funções estéticas mas também climáticas. A implementação de jardins e lagos na cobertura do edifício permitia regularizar a temperatura no seu interior, diminuindo a influência da elevada amplitude térmica existente na região da mesopotâmia. Soluções idênticas foram utilizadas em construções dos impérios gregos e romanos, caindo em desuso na idade média [9].

Com o mesmo intuito, foi utilizado na Pérsia medieval um sistema composto por cisternas e torres de vento. Neste, a conjugação entre as torres captadoras de vento e a passagem do vento por cisternas de água permitia o seu arrefecimento devido a sua humedificação. O ar arrefecido era posteriormente fornecido às habitações, permitindo o arrefecimento das mesmas [10]. Este sistema constituiu o início do desenvolvimento das tecnologias de ar condicionado, que conheceu o seu apogeu no século XX.

Na primeira década do século XX surge, nos Estados Unidos da América (EUA), o primeiro sistema AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado. Este sistema compreendia o controlo do ar interior através da manutenção da temperatura (arrefecimento), da humidade do ar e da qualidade do ar, dentro de certos parâmetros. Na década de 20 iniciou-se a comercialização e implementação destes sistemas em unidades fabris devido, não à procura de conforto térmico mas sim, à necessidade de controlo das condições de qualidade do ar de forma a controlar as características dos produtos em fabrico [11]. A implementação em unidades residenciais nos EUA surgiu apenas no início dos anos 30 tendo pouco aceitabilidade devido aos elevados custos associados. Após a 2ª Guerra Mundial ocorreu a implementação destes sistemas em meios residenciais, passando de 1,3 % em 1953 para 12,6 % em 1960. Este crescimento ocorreu devido à redução dos custos associado ao fabrico dos equipamentos e a um aumento da qualidade dos mesmos. Foi graças a este sistema que se assistiu ao grande desenvolvimento da comunidade Californiana. Na década de 1960, a implementação de ar condicionados em hotéis e restaurantes foi o grande impulsionador da indústria turística na Flórida, criando condições de conforto durante os meses de verão. Esta melhoria das condições tornou esta zona

mais atrativa, tendo sido um dos principais fatores que conduziu à duplicação da população desta região entre 1930 e 1980 [12].

Até ao século XX, a utilização de técnicas construtivas para obtenção de conforto térmico era praticamente inexistente, sendo esta falha colmatada pela queima de resíduos florestais e carvão em lareiras e fogões a lenha. Em Portugal, como indicado na Figura 3, até aos anos 40 a construção era quase toda realizada com pedra natural e/ou tijolo de barro. Apenas na década de 50 teve início a construção com recurso a paredes duplas e caixilharia de ar interior. Até aos anos 80 a estrutura das paredes manteve-se idêntica alterando-se apenas os materiais de construção (pedra natural e tipologia de tijolo). Nos anos 80 foi introduzida a utilização de isolamentos no interior das paredes [13].

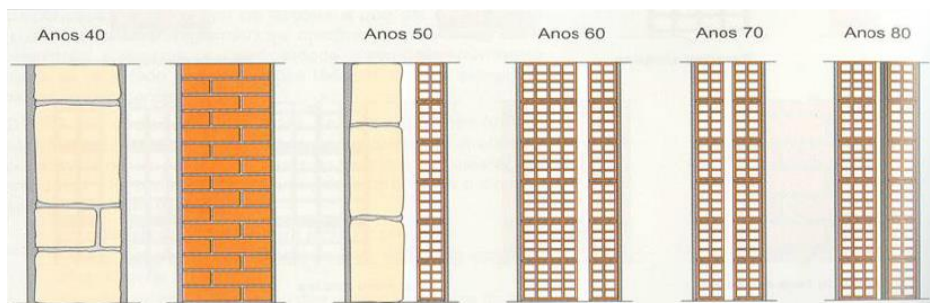


Figura 3 - Evolução das tipologias de paredes em Portugal [13]

A preocupação ambiental atual, representada pela implementação de vários protocolos legislativos como o Tratado de Quioto e Estratégia Europa 2020, levou à procura de soluções que, mantendo os atuais padrões de conforto térmico, permitam a redução do consumo de energia e da queima de combustíveis [14]. Estas soluções passam pelo desenvolvimento de sistemas AVAC mais eficientes e pela conjugação destes sistemas com outras soluções não consumidoras de energias — denominadas soluções passivas. No limite, procura-se encontrar um conjunto de soluções que possibilitem a obtenção de conforto térmico sem recurso a equipamentos consumidores de energia elétrica ou queima de combustíveis - edifícios passivos. Com este objetivo surgiram várias soluções: arquiteturas, construtivas ou através da utilização de novos materiais.

As construções bioclimáticas resultam da projeção de um edifício considerando a situação climática em que ele se encontra e das características geográficas do local em que se insere. Tendo por base inicial regras empíricas associadas às boas práticas de construção por parte dos nossos antepassados, este tipo de construção permite a obtenção de condições de conforto térmico no seu interior, sem a necessidade de recorrer a equipamentos consumidores de energia elétrica [15].

Um dos vencedores do concurso europeu “Edifício Energeticamente Eficiente 2003”, foi um conjunto de três moradias em Sintra. A sua construção bioclimática permite manter uma temperatura interior entre os 20 e 25 °C durante todo o ano sem o recurso ao consumo de eletricidade. Este facto é conseguido, devido à orientação solar das moradias associado à utilização de um bom sistema de ventilação natural e pelo aproveitamento dos ganhos solares no período de inverno associado à grande área de envidraçados [15].

Analisando soluções referentes à utilização de novos materiais, salientam-se:

- Tintas refletoras

O seu desenvolvimento teve início no princípio da década de 70 em resposta à crise do petróleo. Comparativamente com as tintas normais estas apresentam elevados valores de refletância da radiação, permitindo a diminuição da temperatura no interior das habitações. Inicialmente foram desenvolvidas apenas na cor branca e para aplicação em telhados. Contudo, por razões estéticas foram desenvolvidas tintas coloridas com elevada refletância de radiação infravermelha, responsável por aproximadamente 50 % da energia solar que incide na Terra [16].

- Materiais que mudam de fase (PCM - Phase Changing Materials)

Conhecidos desde a década de 40, o seu grande desenvolvimento ocorreu apenas nos anos 70 devido à crise do petróleo. Estes materiais possuem na sua constituição componentes que, em função da temperatura exterior, mudam de estado físico - fase (fusão, solidificação, liquefação ou vaporização). Ao mudarem de estado físico, devido ao seu elevado calor latente, irão armazenar/libertar energia permitindo a regularização das temperaturas num determinado espaço. Esta tecnologia, designada por armazenamento de energia térmica entálpica, é aplicável nas mais diversas áreas (sistemas de ar condicionado, sistemas de refrigeração, têxteis, preservação de alimentos). Atualmente existem diversos materiais com estas características, incluindo orgânicos e inorgânicos e associações dos dois [17].

- Películas refletoras

A colocação destas películas em vidros permite diminuir a temperatura de um edifício pela redução da radiação transmitida pelos vãos envidraçados. Este tipo de películas foi descrito pela primeira vez em 1960. Com o aumento da procura destas soluções, surgiram novos tipos de vidro utilizando diversas colorações. Após a crise energética de 1970 a investigação neste tipo de soluções intensificou-se, desenvolvendo-se películas capazes de absorver e emitir

radiação infravermelha, contribuindo deste modo para a diminuição de perdas térmicas para o exterior durante os períodos de inverno [18].

- Isolamento térmico pelo exterior (External thermal insulation composite system - ETIC's)

Este tipo de tecnologia consiste num sistema de acabamento e isolamento pelo exterior, sendo composto por uma placa de poliestireno expandido e por várias camadas de reforço e acabamento. Desenvolvido na Alemanha, após a 2ª Guerra Mundial, resultou da necessidade de obter soluções de isolamento térmico para edifícios numa época de escassez de matérias-primas. Os reduzidos custos associados, facilidade de aplicação e vasta gama de opções de acabamento, levaram à rápida implementação deste sistema na Europa e posterior introdução nos EUA no final da década de 60 [19].

2.4 Simuladores térmicos computacionais

Do ponto de vista térmico, um edifício não é mais que um sistema complexo com um conjunto de parâmetros ou variáveis, de que são exemplo: a ocupação, as condições climáticas exteriores, os equipamentos, entre outros. A cada instante, dentro do edifício, ocorrem inúmeros processos de transferência de calor. Por exemplo, a mudança da direção do vento pode afetar um subsistema que por sua vez pode interferir com outro, resultando em cada momento em diferentes comportamentos térmicos. Assim sendo, o comportamento do edifício como sistema, vai depender de todas as variáveis que o constituem, sendo que a sua evolução térmica é variável e de difícil previsão, constituindo assim um processo dinâmico. Desta forma, devido à elevada complexidade dos sistemas térmicos em edifícios torna-se imperativo o recurso a simuladores computacionais. Os simuladores computacionais permitem a rápida resolução de problemas complexos devido à elevada capacidade de processamento de informação dos mesmos.

Os métodos numéricos para a definição aproximada destes sistemas, desenvolveram-se em diferentes programas de simulação térmica, que procuram simular estas circunstâncias da forma mais semelhante à realidade possível. Todos os programas de simulação são compostos por um conjunto de equações matemáticas de conservação de massa e energia aplicadas a cada zona térmica. Por zona térmica deve entender-se um espaço com características térmicas semelhantes e não necessariamente coincidente com as zonas físicas do edifício.

A simulação computacional de situações térmicas está intimamente ligada ao desenvolvimento da indústria de ar condicionado nos EUA, tendo estas duas evoluído em paralelo. A primeira

simulação computacional ocorreu em 1959 para o estudo da pressão a que estão sujeitos os vários pistões de um sistema de refrigeração. Os computadores de então eram tão primitivos que a simples determinação da pressão durante o ciclo adiabático do compressor envolveu grandes avanços para a época. Desde os anos 60, a simulação computacional foi bastante desenvolvida existindo hoje em dia vários simuladores, como o ESP-r, o TRNSYS, o DesignBuilder, entre outros [20].

2.4.1 ESP-r - Environmental System Performance – Research

Criado em 1974 pela Universidade de Strachylde, este programa analisa vários fatores determinando o desempenho energético e ambiental dos edifícios. O programa tornou-se em 2002 *open-source* através de uma licença pública GNU, sendo esta uma das suas grandes vantagens.

Trata-se de um programa de simulação que procura simular um edifício em condições reais, analisando o seu desempenho em termos de consumos energéticos, conforto dos ocupantes, qualidade do ar e controlo de sistemas. O seu principal objetivo é simular um modelo, o mais próximo possível da realidade, através de simulação dinâmica. Para esse efeito, dispõe de modelos matemáticos que permitem simular a transferência de calor e humidade, caudais de ar, iluminação, sistemas de controlo e uma gama alargada de tecnologias energéticas. O programa utiliza o método das diferenças finitas na modelação térmica, podendo por isso ser utilizado para simular componentes não lineares. Ao utilizar um algoritmo com diferenças finitas o ESP-r necessita, para conseguir convergir, de intervalos de tempo de integração muito pequenos (na ordem de apenas alguns minutos) e de computadores com elevada capacidade de cálculo e de armazenamento de dados. As simulações/problemas (definido em termos geométricos, construção, operação, ventilação, entre outros) são traduzidos num sistema de equações de conservação de energia e massa. Posteriormente é implementado um sistema de sucessivas iterações, resolvendo as equações de conservação em resposta a influências externas, como clima, ocupação e controlo [21].

O ESP-r dispõe de uma base de dados que permite gerir todos os modelos de componentes dos sistemas, existindo sempre a possibilidade de o utilizador criar e adicionar os seus próprios modelos.

No entanto, esta é uma tarefa nem sempre fácil, devido às regras a que é necessário obedecer para que o ESP-r reconheça os novos componentes. Para além desta base de dados o programa disponibiliza informação relativa aos materiais que constituem a envolvente do edifício, controlo, sombreamento, entre outras. Deste modo, o utilizador poderá sempre acrescentar os seus próprios dados na simulação do edifício.

2.4.2 TRNSYS - Transient System Simulation Program

Desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade de Wisconsin, Madison foi comercializado desde 1975. Este programa foi desenvolvido de forma a simular o desempenho transiente de sistemas de energia térmica.

Originalmente foi concebido para simular o desempenho de sistemas de aquecimento solar de água, contudo foi evoluindo, permitindo atualmente a simulação térmica de pequenos edifícios comerciais. Apesar de fornecer diversos componentes para a realização de simulações de cargas térmicas nos edifícios (compartimentos, paredes, janelas, processador de radiação solar, termostato, serpentina de arrefecimento, entre outros), obriga à definição das mesmas através de modelos de construção já existentes no programa.

Este programa é simples de compreender e tem grandes vantagens, como: flexibilidade, modularidade, código aberto e uma base de dados com uma gama alargada de componentes. No entanto apresenta algumas desvantagens, das quais se destacam, a complexidade para os novos utilizadores, a identificação pouco clara dos erros do modelo e o facto de se tratar de um programa comercial e portanto com encargos significativos.

O TRNSYS é um programa fortemente direccionado para o cálculo térmico, simulando a ventilação de uma forma não exaustiva, e por isso pouco apropriado para um estudo detalhado dos efeitos de um sistema de ventilação na eficiência energética de um edifício [22].

2.4.3 DesignBuilder

O programa DesignBuilder é um interface para o programa de simulação térmica dinâmica EnergyPlus. Permite uma rápida e fácil introdução de geometrias e oferece um conjunto de ferramentas que tornam mais fácil a modelação de edifícios.

O DesignBuilder permite utilizar a caracterização do edifício, inerente à construção do modelo, e os resultados da simulação dinâmica detalhada, para calcular diversos parâmetros relevantes. O DesignBuilder permite modelar edifícios através da criação de ‘blocos’ desenhados num espaço 3D. Estes podem ser cortados, rodados ou esticados de forma a criar qualquer geometria. Permite mudanças nas características do edifício a vários níveis.

O programa possibilita modelar vários edifícios. É possível modelar gradientes verticais dinâmicos de temperaturas em zonas de pé-direito altos, como átrios. Adicionalmente disponibiliza dados da simulação, como o consumo energético discriminado por fins (aquecimento, arrefecimento ambiente, ventilação, iluminação, equipamentos etc.), formas de energia utilizadas no edifício (eletricidade, gás natural, propano ou butano, biomassa,

outras), temperaturas do ar interior, média radiante e operacional, humidade relativa, índices de conforto, produção de CO₂, entre outros [23].

Este programa, apesar de acarretar elevados custos de aquisição de licenças é bastante simples e intuitivo de usar graças ao seu desenvolvimento ter ocorrido a pensar nos utilizadores e possuir uma elevada equipa técnica de desenvolvimento.

3 Descrição Técnica

Este capítulo é dividido em 4 secções de forma a retratar o trabalho realizado. Na primeira secção são apresentadas as razões que levaram à escolha da aplicação ESP-r e em seguida é apresentada a modelação do MBS realizada nesta aplicação. Nesta secção referem-se todas as considerações realizadas de forma a permitir a modelação do edifício. Na terceira secção são discutidos os dados climatéricos usados na simulação das condições climatéricas da cidade do Porto. Na quarta secção de forma a validar os resultados obtidos por simulação é apresentada a comparação entre estes e dados reais de temperatura do MBS.

3.1 Seleção do simulador informático

O simulador escolhido para a realização das simulações foi o ESP-r. Este simulador foi escolhido em detrimento de outros devido à sua elevada capacidade de análise de dados, capacidade de modelação de vários sistemas de conforto térmico e por ao ser uma aplicação *open-source* não apresentando custos de aquisição de licenças.

3.2 Modelação

Neste subcapítulo é descrita a modelação do Mercado do Bom Sucesso realizada em ESP-r. Inclui ainda as simplificações e considerações aplicadas para os vários parâmetros exigidos pelo programa de forma obter-se uma simulação o mais rigorosa possível.

O Mercado da Bom Sucesso localiza-se na cidade do Porto (freguesia de Massarelos), perto da Rotunda da Boavista ($41^{\circ}9'N$, $8^{\circ}37'O$). Na Figura 4 é representada uma vista aérea do MBS.



Figura 4 - Localização do MBS e sua envolvência

O edifício é delimitado pela rua Gonçalo Sampaio e pelo Largo Ferreira Lapa, destacando-se na sua envolvente os edifícios correspondentes ao *Shopping Cidade do Porto* e à Galeria Comercial Península.

De forma a aproveitar o desnível natural do solo, o MBS foi inicialmente constituído por 3 pisos (-1, 0 e 1), sendo que o piso -1 apenas existe para metade da sua estrutura.

Após a remodelação foram adicionados três pisos dentro da estrutura do MBS, sendo atualmente constituído por 6 pisos ocupáveis, como descrito na Tabela 2 e representado nas referidas figuras compostas pelas plantas do edifício cedidas pela Mota-Engil.

Tabela 2 - Atual constituição do MBS

Piso	Descrição	Figura
-2 e -1	Estacionamento e área técnica	Figura 5.a)
0	Área comercial, mercado de frescos e hotel	Figura 5.b)
1	Área comercial, hotel e Fundação	Figura 5.c)

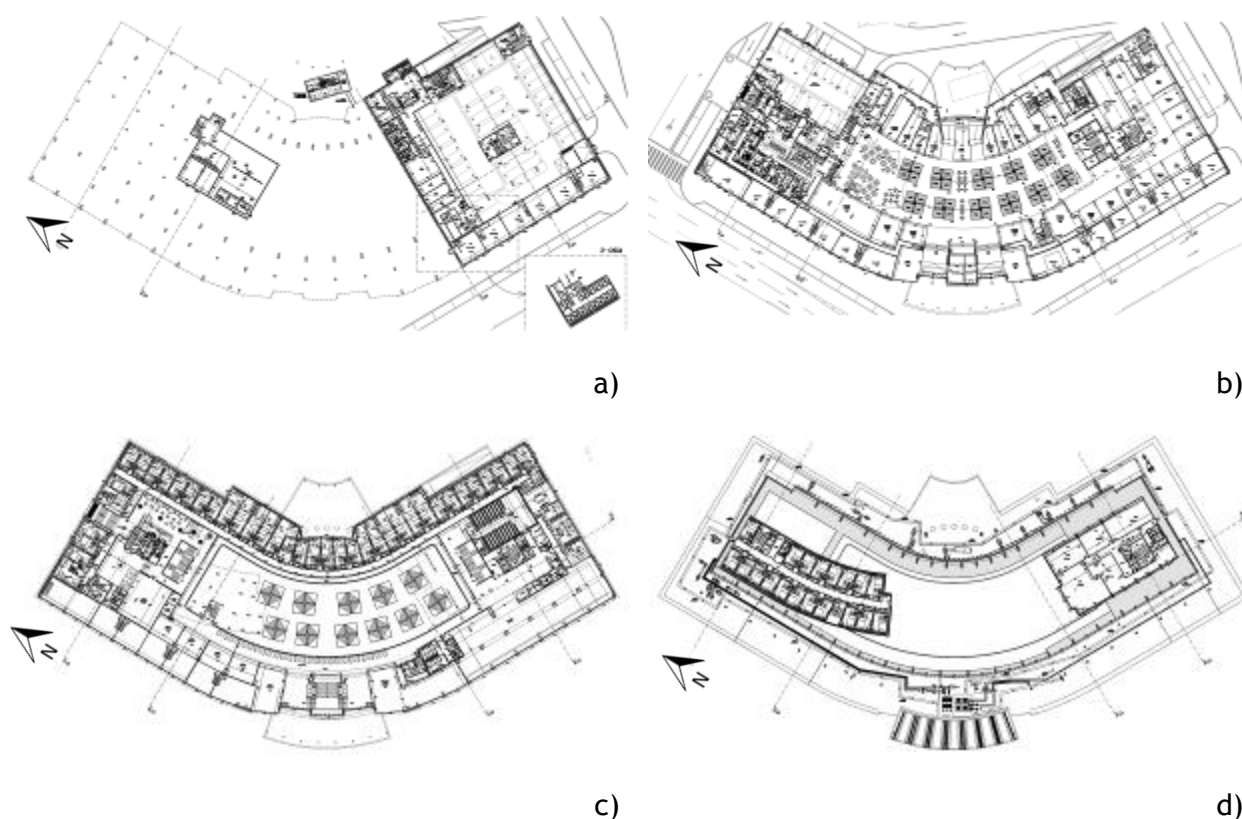


Figura 5 - Plantas do MBS (a - piso -2 / -1, b - piso 0; c - piso 1; d - cobertura)

3.2.1 Definição de zonas

Após análise das plantas na Figura 5 foram definidas várias zonas para modelação no programa. Cada uma das zonas identificadas não representa uma zona física real, mas sim um espaço onde as condições térmicas são idênticas. Na modelação foi excluído o piso -2 e simplificado o piso -1, tendo sido representada apenas a área de estacionamento. Foi ainda considerado que os pisos 2 a 4, referentes a escritórios (pisos 2 e 3) e hotel (pisos 2, 3 e 4), foram apenas representados como duas zonas distintas, cada uma com o pé-direito correspondente aos pisos em questão. Foram ainda modeladas duas zonas, nomeadamente dois edifícios da zona envolvente, cuja dimensão pode interferir com a radiação incidente no MBS.

Foram identificadas 48 zonas divididas em 3 grupos de zonas (Piso 0, Piso 1 e Cobertura) e zonas complementares (Piso -1 e edifícios envolventes). Na Tabela 3 é descrita a constituição de cada um dos grupos e a classificação das zonas que os constituem, sendo descritas também no Anexo 1 com mais pormenor.

Tabela 3 - Caracterização das zonas do MBS

	Piso 0	Piso 1	Cobertura	Complementares
Loja exterior	A, B, C, K, L, X	A,B	-	-
Lojas interna	D, E, I, J, M, F, U	C, D, J	-	-
Área técnica	F, G, W, N, P, Q, T, V, Y, Z	K	-	-
Hotel/escritórios/Fundação	H, O	E, F, G, H, I, M	A, B,	-
Átrio	0	1	C, D, E	-
Estacionamento	-	-	-	-1
Mercado de frescos	S, R	-	-	-
Edifícios envolventes	-	-	-	A, B
Figura	Figura 6.a)	Figura 6.b)	Figura 6.c)	-

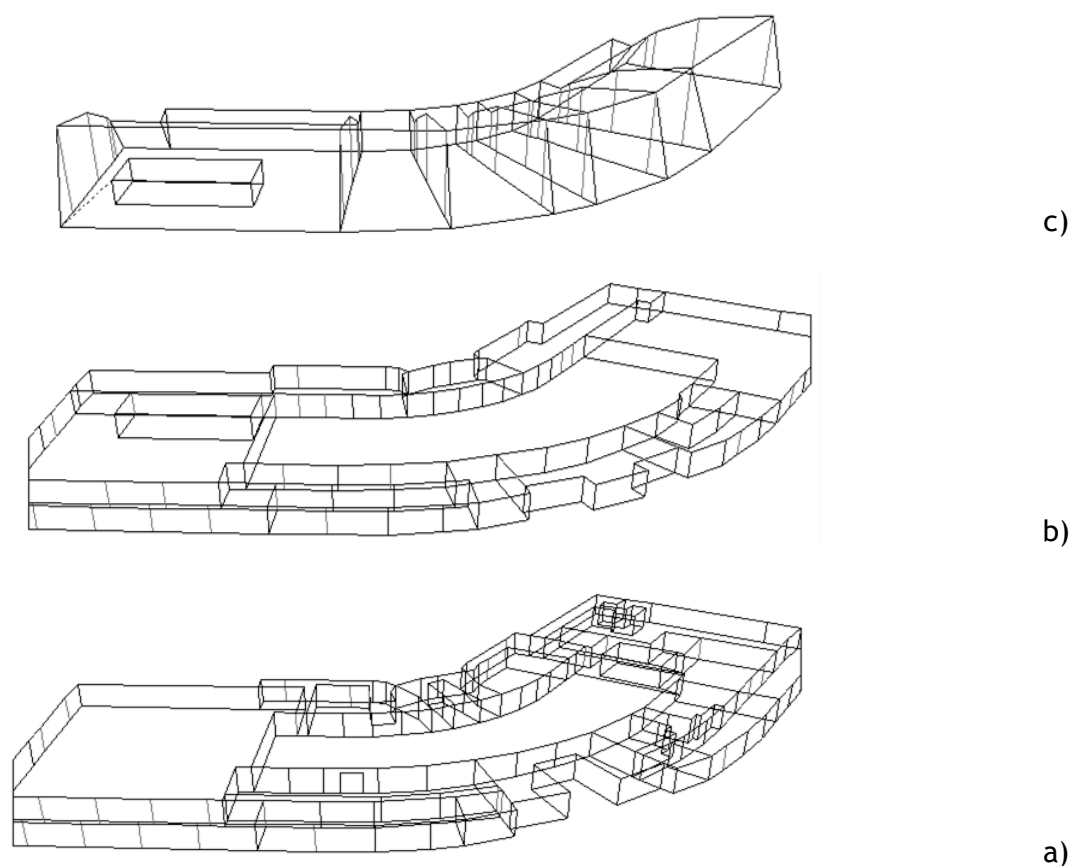


Figura 6 - Modelação da estrutura do MBS em ESP-r (a - piso 0, b - piso 1; c - cobertura)

Sendo o principal objetivo deste trabalho o estudo do conforto térmico na zona correspondente aos átrios, é apresentada na Tabela 4 informação sobre os mesmos sendo especificada a informação das restantes zonas modeladas no Anexo 1.

Tabela 4 - Dados da modelação referentes aos átrios

	Piso 0	Piso 1	Cobertura
Volume (m ³)	4610	6180	26500
Área útil (m ²)	1260	1720	3820
Pé-direito (m)	3,3	3,9	4,3 a 11,6

3.2.2 Fachadas

As propriedades construtivas, nomeadamente, a constituição de todas as fachadas do MBS foram definidas com base nas informações fornecidas pela empresa Mota-Engil. Contudo, uma vez que a empresa apenas foi responsável pelo projeto de requalificação, nem todas as informações se encontram disponíveis, nomeadamente a constituição exata de todas as fachadas. Nestes casos

foram feitas considerações tendo em conta a informação disponível. Esta informação é descrita no Anexo 2.

3.2.3 Ganhos Internos

Os valores detalhados dos perfis de ocupação, iluminação e equipamentos considerados encontram-se definidos no Anexo 3. Esta informação foi retirada do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios - RSECE, tendo em conta cada uma das zonas consideradas [24]. Apesar do referido regulamento não se aplicar ao MBS por este não se tratar de um edifício climatizado, este foi consultado de forma a se obter os perfis de utilização (equipamentos, ocupação e iluminação) exigidos pelo simulador. Sem recurso ao RSECE não seria possível obter os referidos perfis, uma vez que estes não possíveis de ser medidos ou calculados. No RSECE são definidos perfis de utilização de ocupação, equipamentos e iluminação, mas apenas são definidas as cargas térmicas por unidade de área útil para ocupação e equipamento, sendo que para o parâmetro de iluminação foi considerado o valor base de $5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

3.2.4 Ventilação

O RSECE define os caudais mínimos de ar novo para renovação de ar interior em projetos de edifícios novos, dotados de sistemas de climatização com ventilação mecânica. Como referido anteriormente, apesar deste regulamento não se aplicar ao MBS, foi utilizada a informação deste de forma a se obter valores base de renovação de ar para as diferentes zonas (Anexo 1). Esses valores foram considerados para todas as zonas, à exceção das zonas V, T, R, S e átrio do Piso 0, átrio do Piso 1 e zonas A, B e C da cobertura. Nestas zonas, devido à presença de portas (zonas V e T do piso 0) e grelhas (zonas A, B e C da cobertura e zona S do piso 0) que permitem a livre circulação de ar, foi desenhada uma rede de escoamento de ar de modo a obter uma maior aproximação do modelo à realidade.

A rede de escoamento de ar é composta por 19 nós (10 caracterizam o ar interior em cada zona e os restantes o ar exterior), 22 componentes e 22 ligações. A informação completa sobre este sistema encontra-se no Anexo 4.

Foi ainda adicionado um controlo de abertura de portas, de forma a simular o período noturno (das 0 h às 8 h) em que o mercado se encontra fechado.

3.2.5 Climatização

As áreas do MBS associadas ao hotel, fundação e escritórios encontram-se climatizadas. De forma a considerar esta condição foi simulado um sistema AVAC que permite manter a temperatura nestas áreas dentro da gama de temperaturas correspondentes aos limites de conforto térmico. Uma vez que não se pretende estudar o conforto térmico nem a influência de outros fatores nas referidas áreas, foi utilizado um modelo de controlo de sistema AVAC simples. Este modelo permite manter a temperatura das áreas dentro dos limites de conforto térmico através de um sistema com uma potência de 50 kW.

3.2.6 Radiação solar

Uma vez que o simulador não permite a transmissão de radiação solar entre zonas adjacentes, esta condicionante foi contornada através da aplicação de uma carga térmica às zonas do átrio do piso 0 e 1 correspondente à radiação solar. De forma a determinar qual a carga térmica a adicionar, foi calculada a carga existente na cobertura. Foram considerados 4 períodos anuais, sendo que para cada um deles foi determinado o perfil de radiação diário médio. Considerou-se que 10 % da radiação seria retida pela cobertura, 10 % pelo átrio do piso 1 e os restantes 80 % pelo átrio do piso 0. As cargas térmicas consideradas estão representadas no Anexo 5.

3.2.7 Condições de conforto térmico.

Como referido anteriormente considera-se que para a obtenção de conforto térmico num dado espaço interior, os limites de conforto térmico (LCT) a considerar devem variar entre 20 e 23 °C no inverno e 22,5 e 26 °C no período de verão. De forma a determinar-se quais os meses pertencentes a cada uma das estações referidas, recorreu-se à legislação portuguesa onde está referido que a estação de verão, doravante designada por período de arrefecimento é compreendida entre julho e setembro. Este período é assim designado devido às necessidades de arrefecimento do espaço ser superior às necessidades de aquecimento. O período de inverno, compreendido entre os meses de outubro a maio é designado por período de aquecimento devido às necessidades de aquecimento superarem as de arrefecimento [3].

3.3 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos usados foram obtidos através da base de dados do simulador ESP-r para a cidade do Porto compreendendo o período de um ano. Estes dados não correspondem aos valores reais de um ano, mas sim aos valores médios de vários anos. Deste modo, as

situações climatéricas extremas encontram-se dissimuladas, nomeadamente temperaturas bastante elevadas no verão e baixas no inverno.

Na Figura 7 estão representados os valores fornecidos pela base de dados do programa: temperatura ambiente média, máxima e mínima diária. Na Tabela 5 estão descritos os valores, de temperatura máxima e mínima obtida para cada mês. Na mesma tabela são também apresentados os valores de temperatura média mínima e média máxima para cada mês, calculados através da média mensal das temperaturas máximas e mínimas diárias. Os valores apresentados nesta tabela correspondem apenas aos valores de temperatura registados no período de ocupação (entre as 9 h e as 24 h), período durante o qual o MBS se encontra aberto ao público.

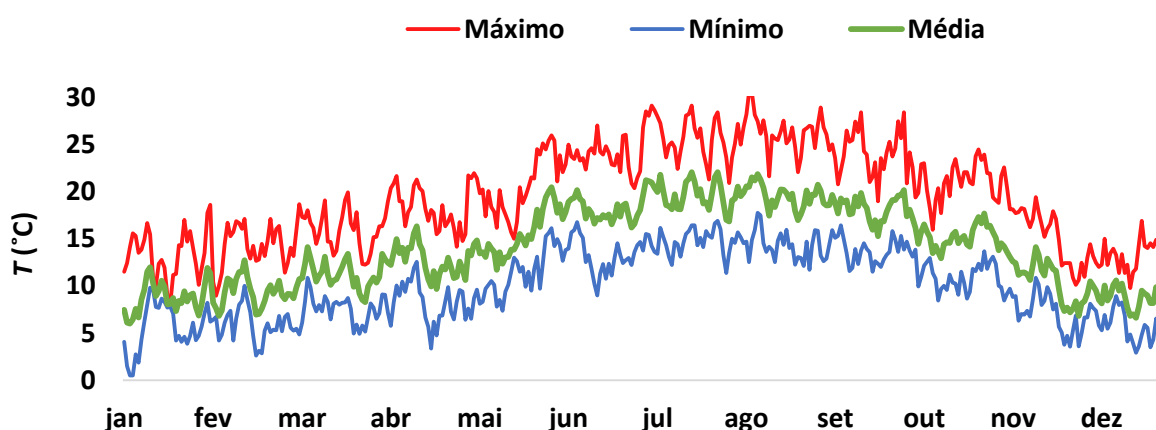


Figura 7 - Dados de temperatura anuais obtidos pelo simulador ESP-r

Tabela 5 - Análise mensal dos dados meteorológicos obtidos pelo simulador ESP-r

Temperatura (°C)		jan	Fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Média	Mínima	8	8	10	12	13	18	18	19	17	14	8	8
	Máxima	14	14	16	18	23	24	25	25	23	20	17	13
Mínima		3	5	7	6	10	13	14	15	14	11	5	4
Máxima		19	19	20	22	26	29	29	31	28	24	23	18

Os dados de temperatura obtidos foram divididos nos dois períodos anteriormente identificados: período de aquecimento e período de arrefecimento. Analisando a tabela anterior, verifica-se que durante o período de aquecimento, para os meses de dezembro a março, a temperatura máxima é menor que a temperatura mínima de conforto térmico. Nos meses de abril e

novembro verifica-se que a temperatura ambiente máxima encontra-se dentro dos limites de conforto térmico (20 a 23 °C). Nos meses de maio e outubro a temperatura foi superior ao limite máximo. Analisando o período de arrefecimento, a temperatura máxima obtida é sempre superior ao limite máximo de conforto térmico de 26 °C.

Considerando a média máxima, ou seja, média dos valores máximos diários de cada mês, verifica-se que esta encontrou-se dentro dos limites de conforto térmico anteriormente apresentados para os meses de maio a outubro, sendo menor que o limite mínimo de conforto térmico para o restante período anual (20 °C). Contudo verificou-se que a temperatura média máxima foi bastante inferior a 20 °C nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

3.4 Validação do modelo

De forma a validar o modelo do MBS reproduzido no *simulador*, foram colocadas sondas de temperatura em vários pontos no interior do MBS. Os resultados obtidos pelas sondas foram comparados com os dados simulados, de forma a calibrar a modelação considerada e realizar pequenos ajustes no modelo. Com o intuito de simular o MBS em condições idênticas às reais, os dados meteorológicos utilizados não foram os da base de dados do programa, mas sim os obtidos pela estação meteorológica do ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto para o período correspondente (1 a 14 de dezembro de 2014). A colocação das sondas no MBS foi dificultada, quer pelo número de sondas disponíveis, quer pela necessidade de colocar as sondas em locais de acesso restrito ao público e sem interferências com as normais atividades do MBS. Estas foram dispostas de modo a representar as 3 zonas (átrio do piso 0, átrio do piso 1 e cobertura) e a temperatura exterior. Para esta simulação foi ainda necessário considerar a existência de *hotspots* (aquecedores a gás) presentes no MBS.

Após análise dos dados obtidos pelas sondas e comparação com os dados simulados foi efetuada um ajuste dos dados simulados, através da criação de uma corrente de ar proveniente do átrio do piso 0 para o átrio do piso de 1. Este caudal foi de $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para o período compreendido entre as 0 h e as 8 h e de $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para o período das 9 h às 24 h.

Na Figura 8 está representada a temperatura das várias zonas, comparando-se as temperaturas registadas pelas sondas (reais) e as temperaturas obtidas pelo programa ESP-r (simuladas). Na situação exterior, onde se analisa a temperatura ambiente externa, os dados referentes ao simulador correspondem aos dados meteorológicos obtidos pela estação meteorológica do ISEP.

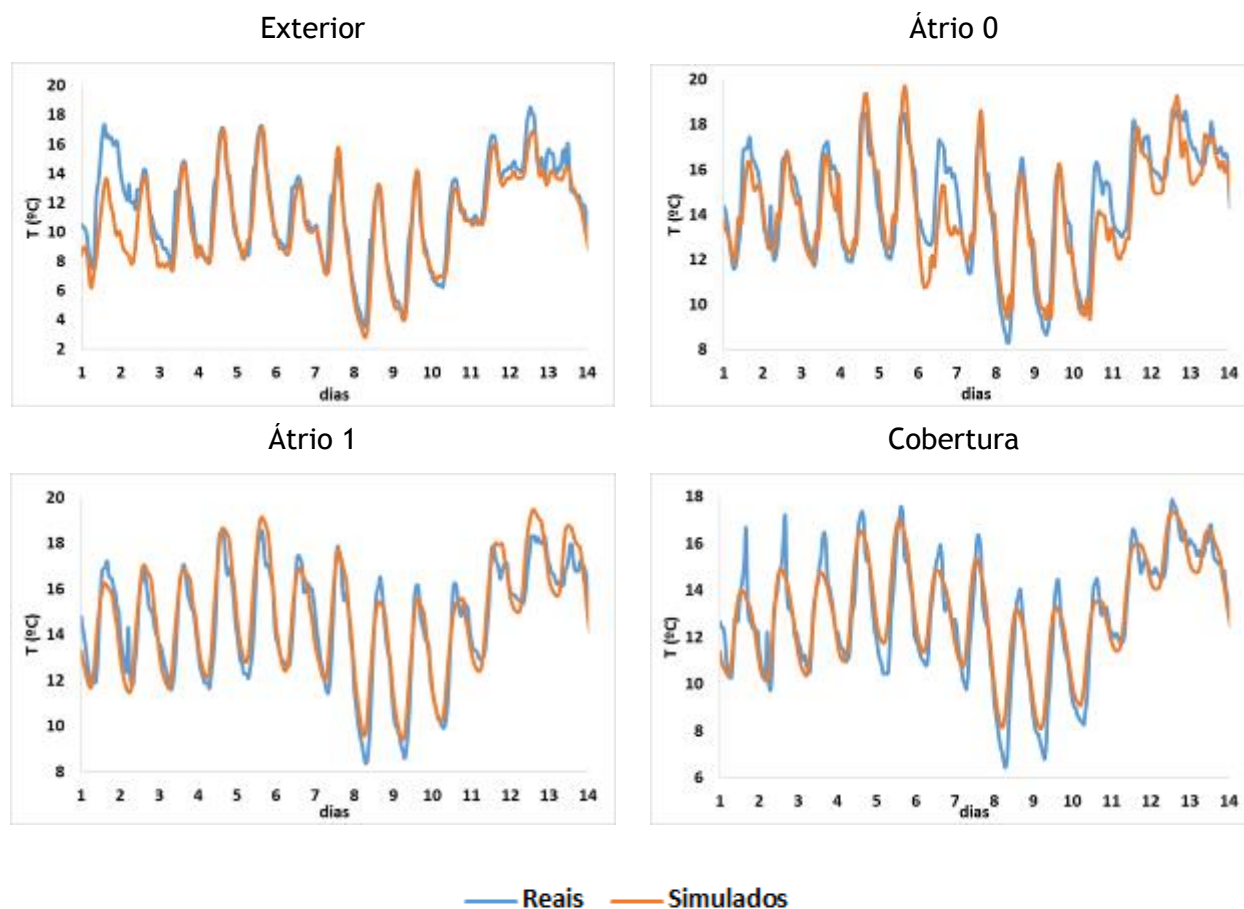


Figura 8 - Dados obtidos pelo simulador ESP-r e pelas sondas - validação do modelo

Para a situação exterior, analisando os resultados obtidos, verifica-se uma elevada concordância entre os dados registados pelas sondas e os obtidos pela estação meteorológica. Observa-se que os dados de temperatura conseguidos pela sonda para o dia 1 são consideravelmente superiores aos obtidos pela estação meteorológica. Esta diferença pode ser explicada pela influência da radiação direta que incidia sobre a mesma, que devido à alteração da sua localização esse efeito deixou de estar presente.

As temperaturas podem ser distribuídas em 3 períodos temporais: de dia 1 a 7 no qual a temperatura varia entre 8 e 17 °C; a que se segue os dias 8 a 10 com um abaixamento da temperatura com uma variação entre 3 e 14 °C; e entre os dias 11 e 13 verifica-se um período de aumento da temperatura, associado a uma diminuição da amplitude térmica. Neste período a temperatura varia entre 14 e 18 °C, sendo esta alteração de comportamento térmico explicada devido à pluviosidade elevada.

Para o átrio do piso 0, analisando os resultados reais, estes seguem um comportamento idêntico ao verificado para as temperaturas exteriores. Contudo sofrem mais flutuações diárias pela

existência de equipamentos de aquecimento (aquecedores a gás) que são usados de acordo com as necessidades, e cargas térmicas próprias do edifício. Apesar das limitações da modelação (cargas térmicas definidas com base no regulamento RSECE, não correspondentes à situação real e desconhecimento do perfil e cargas exactas de funcionamento dos equipamentos de aquecimento) verifica-se uma boa correlação entre os dados reais e os obtidos através de simulação.

Para o átrio do piso 1 e para a cobertura, analisando os dados de temperatura obtido pelas sondas, obtém-se um perfil mais regular que o obtido para o Átrio 0 mantendo-se a boa correlação entre os dados. Nos dados reais obtidos para a cobertura verifica-se a existência de picos de temperatura. Os picos máximos devem-se a uma possível localização inadequada das sondas, uma vez que estas podem ter sido colocadas num local onde incidia radiação directa solar. Este facto promove o seu aquecimento, registando por sua vez a temperatura da sonda e não a temperatura ambiente. Os picos mínimos podem resultar da colocação das sondas próximo de grelhas, cuja entrada de ar proveniente do exterior influencia a temperatura registada. Este facto ocorre essencialmente durante o período noturno em que a diferença de temperaturas entre o interior e o exterior do MBS é mais assentuada.

4 Resultados e discussão

Neste capítulo são apresentadas as várias hipóteses consideradas para um aumento do conforto térmico no MBS. Os intervalos de temperatura considerados para conforto térmico são os apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Limites de temperatura para conforto térmico considerados

Período	Meses	Intervalos de conforto térmico ($T^{\circ}\text{C}$)
Aquecimento	Outubro - Maio	20 - 23
Arrefecimento	Junho - Setembro	22,5 - 26

Inicialmente analisaram-se os dados obtidos por simulação para a situação idêntica à existente na atualidade, sendo em seguida apresentadas as soluções consideradas. Estas foram divididas em 3 grupos consoante as suas características. No primeiro grupo, soluções controladoras de renovações de ar, foi estudada a introdução de componentes mecânicos para controlo do grau de abertura de portas e grelhas existentes no MBS, determinando a sua influência no conforto térmico do mesmo. No segundo grupo, soluções que não envolvem o controlo das renovações de ar, foram estudadas 5 soluções não mecânicas. Estas soluções resultam do controlo da radiação incidente no MBS, da diminuição da condutividade térmica das envolventes do edifício ou do armazenamento energético. O terceiro grupo, soluções combinadas de conforto térmico, consiste no estudo de soluções resultantes da conjugação de elementos dos dois primeiros grupos.

4.1 SR - Situação de referência

A situação de referência corresponde à presente situação verificada no MBS, sem qualquer sistema de conforto térmico, inclusive sistemas de aquecimento por gás como aquecedores.

Nesta situação, as 4 portas do MBS (2 a poente e 2 a nascente) encontram-se totalmente abertas (apenas para o período de ocupação do MBS, estando no restante tempo fechadas), assim como as grelhas existentes na cobertura e na zona do mercado de frescos (zona S do piso 0). As informações sobre as portas e grelhas são descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Áreas das portas e grelhas existentes no MBS

	Área (m ²)		
	Nascente	Poente	Mercado de frescos
Grelhas	20	60	8
Portas	8	8	-

Os dados obtidos por simulação são representados na Figura 9. Os dados apresentados correspondem às temperaturas horárias no período de ocupação (entre as 9 h e as 24 h), para as zonas correspondentes ao átrio do piso 0 e 1. São também representados os limites de conforto térmico superior (LSCT) e inferior (LICT).

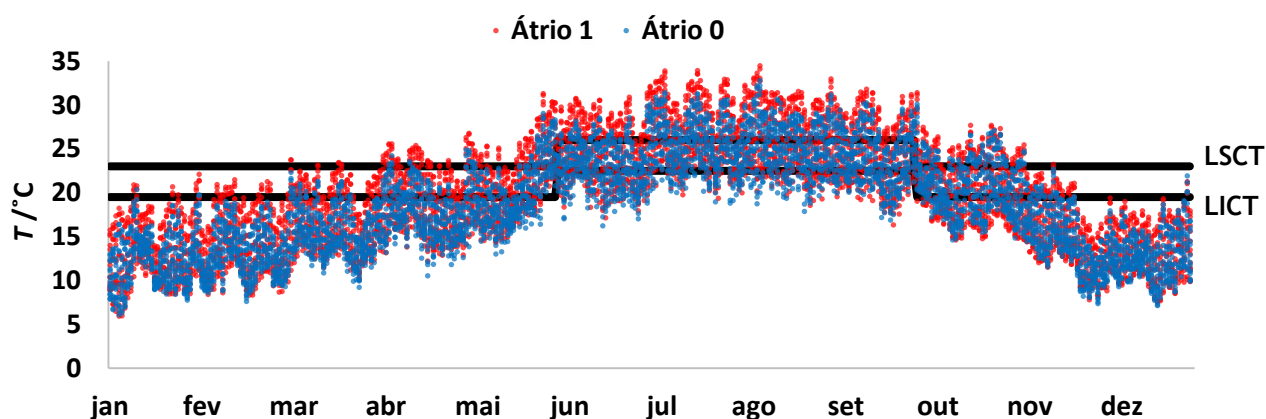


Figura 9 - História anual da temperatura para a situação de referência - SR

Para o átrio 0 verifica-se que nos meses de novembro a fevereiro a temperatura raramente atinge a temperatura mínima de conforto. Nos meses de março a maio as temperaturas aumentam ligeiramente, passando a verificarem-se temperaturas dentro da zona de conforto térmico. No mês de maio verifica-se inicialmente um período em que a temperatura é bastante inferior aos limites de conforto térmicos, seguido de um rápido aumento da temperatura no final deste mês resultando em temperaturas superiores ao limite máximo. No mês de outubro observa-se um comportamento semelhante ao do mês de maio, sendo que no início do mês a temperatura diminui para valores abaixo do limite mínimo, aumentando em seguida no período final do mês para valores superiores ao limite máximo.

No período de arrefecimento (junho a setembro) verifica-se uma elevada amplitude térmica, existindo temperaturas acima e abaixo dos limites de conforto térmico. No mês de junho a

temperatura encontrou-se maioritariamente entre os limites de conforto térmico, ou abaixo do limite inferior (22,5 °C). Esta situação corresponde a que, apesar de junho pertencer ao período de arrefecimento (período no qual é necessário arrefecer os edifícios), as necessidades térmicas de aquecimento são superiores às de arrefecimento. Assim, para este mês é mais importante promover medidas que permitam o aquecimento do MBS do que medidas que promovam o seu arrefecimento.

Analisando as temperaturas do átrio 1 e comparando-as com as do átrio 0, verifica-se que apesar do perfil de temperaturas ser semelhante, as temperaturas são sempre superiores. Ao serem superiores, verifica-se no período de aquecimento a existência de um maior número de horas dentro do limite de conforto térmico. Para os meses de abril, maio e outubro, ocorrem temperaturas acima do LSCT. No período de arrefecimento, a temperatura do átrio 1 encontra-se maioritariamente acima do LSCT, ocorrendo raramente períodos em que a temperatura se encontra abaixo do LICT.

Na Figura 10 é representada a percentagem de horas do período de ocupação do MBS cuja temperatura do átrio do piso 0 e 1 se encontra dentro dos limites de conforto térmico.

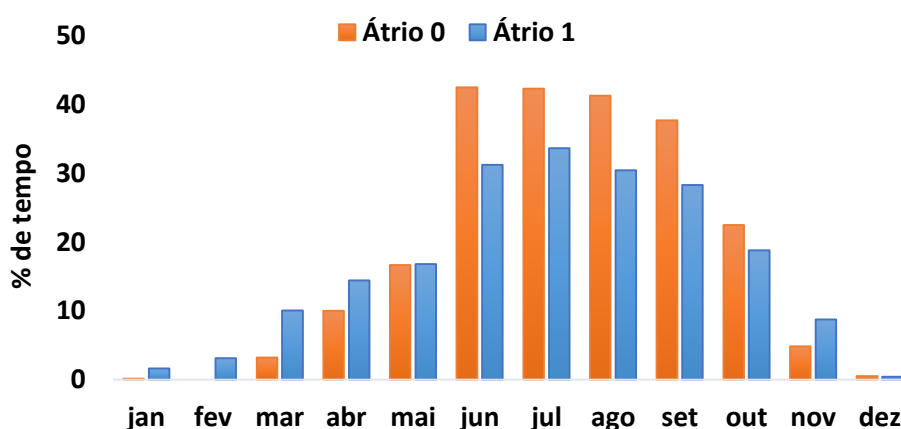


Figura 10 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para a situação de referência - SR

Como analisado anteriormente é no período de arrefecimento que se verifica o maior número de horas dentro dos limites de conforto térmico. Esta tendência advém dos limites de conforto térmico neste período se encontrarem dentro da amplitude térmica diária do edifício. Verifica-se que para este período a temperatura do átrio do piso 0 variou entre o mínimo de 16 °C e um máximo de 31 °C. No período de aquecimento os limites de conforto térmicos encontram-se acima da amplitude térmica, situação evidenciada pelos meses de janeiro, fevereiro e dezembro em que a temperatura dos átrios apenas em situações pontuais é superior

ao LICT. Para o mês de fevereiro a temperatura máxima foi inferior ao LICT, pelo que o número de horas dentro da zona de conforto térmico para este mês foi nulo. Deste modo, a percentagem de horas dentro dos limites de conforto térmico variou entre 0 e 22 % no período de aquecimento e entre 38 % e 43 % no período de arrefecimento.

Para o átrio do piso 1 verifica-se que em todos os meses a temperatura máxima mensal foi superior ao LICT, pelo que o número de horas dentro dos limites de conforto térmico foi sempre superior a zero, variando entre 4 % e 15 % no período de aquecimento e entre 22 % e 30 % no período de arrefecimento.

A análise dos resultados coloca em evidência a impossibilidade de se considerar uma solução estática, ou seja, uma solução que não seja capaz de se adaptar às condições meteorológicas externas, resultando em flutuações de temperatura internas. Tomando o mês de junho como exemplo, apesar deste pertencer ao período de arrefecimento, o número de horas cuja temperatura se encontrou abaixo do LICT é maior que o número de horas cuja temperatura se encontrou acima do LSCT, pelo que ocorre uma maior necessidade de aquecimento do que de arrefecimento. No mês de outubro, pertencente ao período de aquecimento, verifica-se o oposto sendo necessário diminuir a temperatura do MBS num maior número de horas do que as necessárias em aumentar a temperatura de modo a atingir condições de conforto térmico.

4.2 Soluções de controlo das renovações de ar

Neste grupo de soluções foi estudada a influência do controlo das aberturas existentes no MBS. Estas aberturas, definidas como portas e grelhas, têm influência direta na temperatura interior do MBS ao permitir a livre circulação de ar entre o exterior e interior. Foram analisadas 4 situações. A primeira corresponde ao estudo da influência da existência de portas-automáticas na entrada do MBS. Estas portas-automáticas apresentam um tempo fixo de abertura. Em seguida foi estudada a mesma situação, contudo o tempo de abertura das portas seria variável em função da temperatura do interior do MBS. Foram analisadas mais duas soluções, em que foi definido o controlo de:

- portas e grelhas do mercado de frescos em função da temperatura do átrio do piso 0;
- portas e grelhas do mercado de frescos e cobertura em função da temperatura do átrio do piso 0.

4.2.1 PA – Portas-automáticas

O estudo da influência nas condições de conforto térmico da MBS através da implementação de portas-automáticas foi conseguido através da redução da abertura das portas para o período de

ocupação do MBS. As portas-automáticas funcionariam em conjugação com as atuais portas exteriores, permitindo uma redução do caudal de entrada de ar. Para o sistema de duas portas, portas exteriores e automáticas, foi considerado que as primeiras teriam apenas uma das portadas abertas e que as segundas estariam abertas apenas 10 % do tempo. Para a modelação desta situação, considerou-se então que as portas exteriores teriam uma redução de área de 75 % em virtude de apresentarem apenas uma portada aberta. Para as portas-automáticas, não sendo possível a modelação de uma porta a abrir e fechar de forma constante, considerou-se uma porta estática, com uma abertura de 10 %. A conjugação das duas portas resultou num modelo composto por uma única abertura que conjuga as propriedades das duas portas acima descritas. Esta porta modelada apresenta uma área de abertura de apenas 2,5 % em relação às portas originais, resultando da conjugação entre a abertura de 10 % das portas-automáticas e a abertura de 25 % das portas exteriores.

Na Figura 11 são representados os dados de temperatura do átrio do piso 0, obtidos por simulação das portas-automáticas para o período de ocupação do MBS (PA) e os dados SR ao longo de um ano.

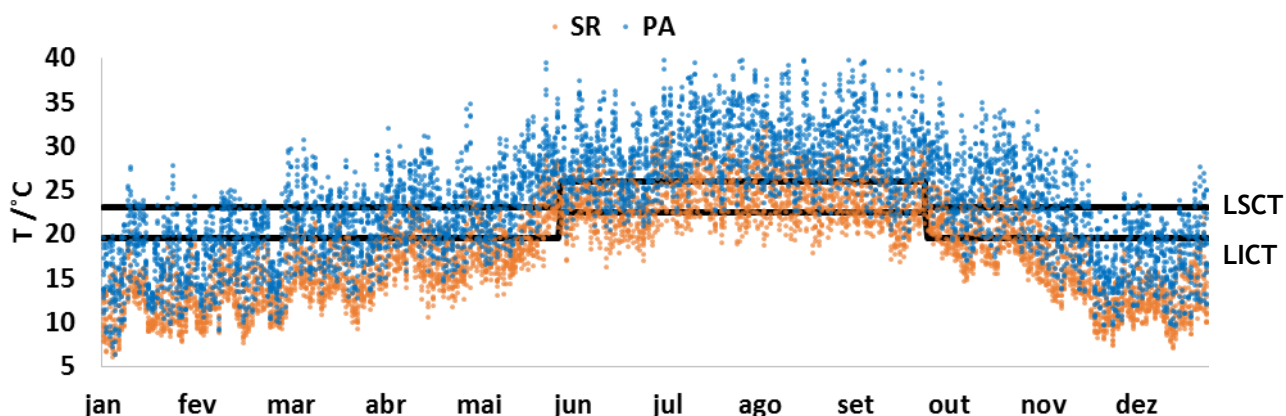


Figura 11 - História anual da temperatura para os casos PA e SR

Analisando a figura verifica-se um aumento significativo das temperaturas para todo o ano. Nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro o aumento de temperatura é vantajoso sendo que nestas situações verifica-se a existência de temperatura dentro dos limites de conforto térmico. Nos restantes meses do período de aquecimento também se verifica um aumento da temperatura. Contudo este aumento origina temperaturas superiores ao LSCT. Nos meses correspondentes ao período de arrefecimento o aumento da temperatura leva a que a maioria das temperaturas registadas sejam superiores ao LSCT.

Na Figura 12 é apresentada a percentagem de horas mensais para o átrio do piso 0, na qual se verifica a existência de temperaturas dentro da gama de conforto térmico, bem como os valores obtidos para a situação de referência- SR. Com a presença das PA verifica-se uma estabilização da percentagem de horas dentro da zona de conforto térmico, obtendo-se valores entre 10 % e 20 %. Estes valores apenas são excedidos para o mês de junho, no qual se verifica um valor de 31 %.

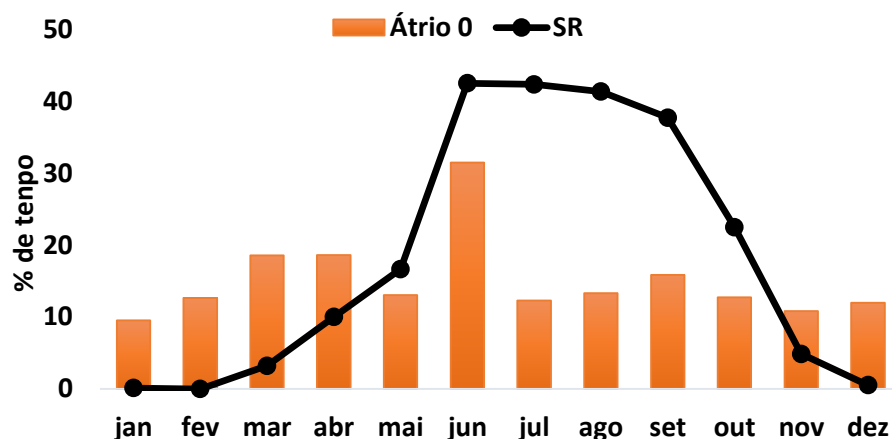


Figura 12 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de PA.

A existência das PA, ao reduzir significativamente o fluxo de ar proveniente do exterior, origina um contributo importante para o aumento da temperatura no interior do MBS. Contudo, em determinados períodos é mais benéfica a abertura total das portas como ocorre na situação de referência. As portas totalmente abertas são mais benéficas no período de arrefecimento, mas também em certos momentos do período de aquecimento, como nos meses de maio e outubro, onde se verifica que a percentagem de horas dentro dos limites de conforto térmico é superior na situação de referência do que com a existência de portas-automáticas.

4.2.2 PAFT – Portas-automáticas em função da temperatura

As portas-automáticas em função da temperatura correspondem à existência de portas-automáticas cujo grau de abertura é variável.

A variação da abertura das portas resulta da introdução de um controlador de banda proporcional, que ao registar a temperatura no interior do átrio 0 permitirá aumentar ou diminuir o grau de abertura das portas. A situação mínima para a abertura das portas corresponde à referida para a situação PA (2,5 % de abertura), enquanto o máximo corresponde à abertura total das portas (100 % de abertura). Os dados correspondentes ao controlador são

apresentados na Tabela 8 e os dados obtidos por simulação são apresentados na Figura 13. Este controlador permite que, para situações em que a temperatura do átrio do piso 0 seja inferior ao LICT as portas estejam apenas 2,5 % abertas e para situações em que a temperatura no átrio do piso 0 é superior ao LSCT as portas encontram-se totalmente abertas. Para temperaturas entre o LICT e o LSCT, a abertura das portas varia proporcionalmente em 2,5 % e 100 %.

Tabela 8 - Propriedades do controlador considerado para PAFT

Controlador Proporcional	
Gama de temperatura (°C)	20,5 - 22,5 (período de aquecimento) 23,5 - 25,5 (período de arrefecimento)
Abertura (%)	2,5 a 100

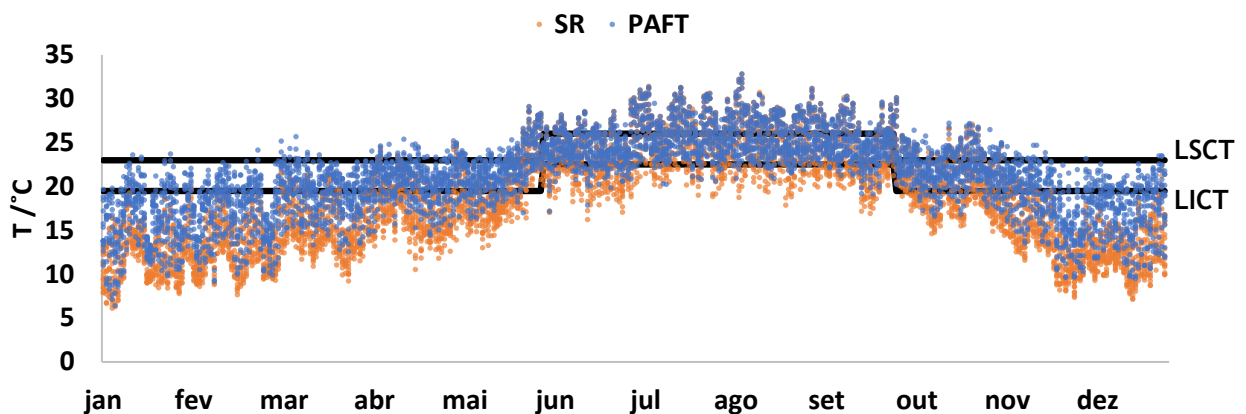


Figura 13 - História anual da temperatura para os casos PAFT e SR

Analisando a figura, verifica-se que comparando a situação de referência com a situação de PAFT, ocorreu uma diminuição do número de horas abaixo do limite inferior de conforto térmico ao longo de todo o ano, sendo que para o período de arrefecimento o número de horas acima do LSCT se manteve praticamente inalterado. Isto permite concluir que o controlo da circulação de ar no interior do MBS apenas possibilita a melhoria das situações em que a temperatura é inferior ao limite de conforto térmico. As situações em que a temperatura é superior a LSCT correspondem às condições em que as portas se encontram totalmente abertas, como ocorre na situação de referência (SR).

Analisando a Figura 14 compara-se a percentagem de horas dentro dos limites de conforto térmico, para o átrio 0 utilizando as PAFT com a percentagem de tempo dentro da gama de temperaturas de conforto térmico obtida para o átrio 0 na situação de referência.

Na figura verifica-se um aumento da percentagem de horas dentro dos limites de conforto térmico em todos os meses, inclusive durante o período de arrefecimento e com maior acentuação para o mês de junho (maiores necessidades de aquecimento em relação às de arrefecimento para este mês).

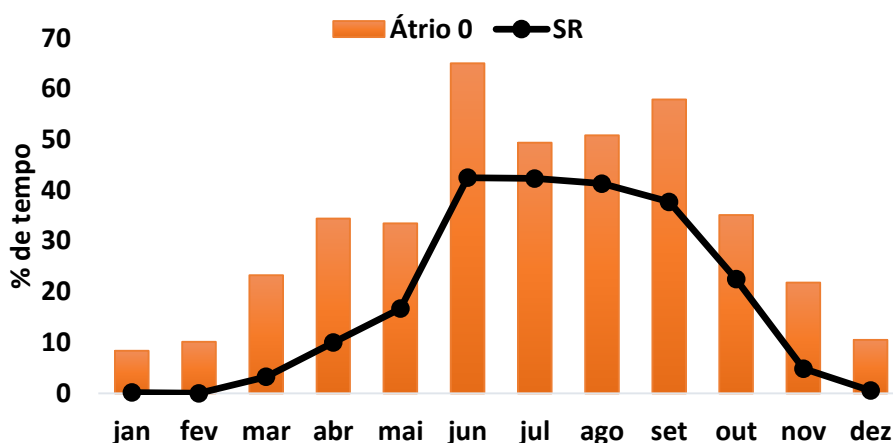


Figura 14 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de PAFT

4.2.3 PAMFT – Portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos em função da temperatura

Corresponde a uma solução idêntica à apresentada no ponto anterior (4.2.2.) contudo, além da existência de portas-automáticas em função da temperatura do piso 0, controla-se adicionalmente o grau de abertura das grelhas existentes no mercado de frescos. Como anteriormente descrito, a variação da abertura das portas e grelhas resulta da introdução de um controlador de banda proporcional, que ao medir a temperatura no interior do átrio 0 permitirá aumentar ou diminuir o grau de abertura das portas e grelhas. Os dados correspondentes ao controlador são apresentados na Tabela 9 e os dados obtidos por simulação são apresentados na Figura 15. O valor mínimo de abertura das grelhas do MBS foi determinado de forma a manter os níveis mínimos de renovação de ar para a zona S - mercado de frescos.

Tabela 9 - Propriedade do controlador considerado para PAMFT

Controlador Proporcional	
Gama de Temperaturas (°C)	20,5 - 22,5 (período de aquecimento) 23,5 - 25,5 (período de arrefecimento)
Abertura (%)	2,5 a 100 (portas-automáticas) 7 a 100 (grelhas mercado de frescos)

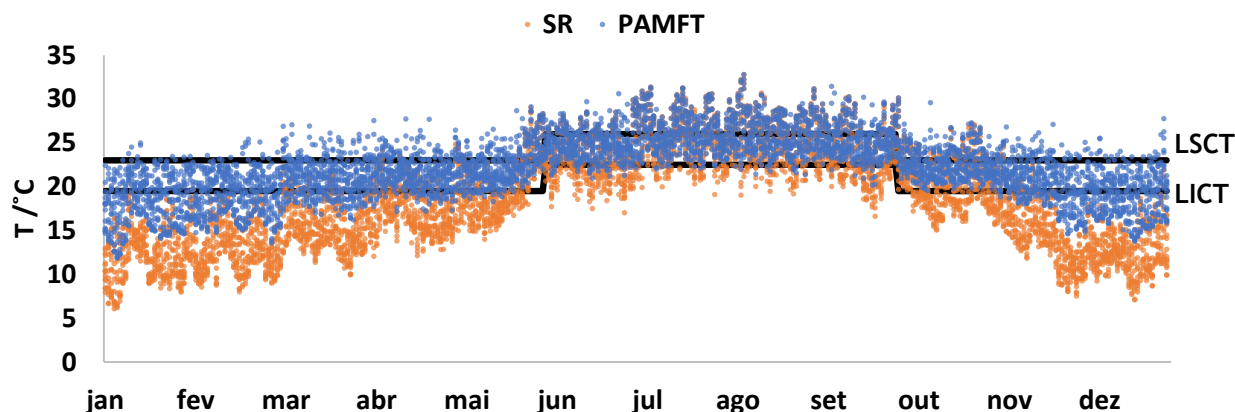


Figura 15 - História anual da temperatura para os casos PAMFT e SR

Analisando os dados do gráfico da Figura 15 observa-se um aumento da temperatura, em especial durante o período de aquecimento, existindo situações pontuais nos meses de dezembro a fevereiro em que as temperaturas são superiores ao LSCT. Este aumento justifica-se pela redução do caudal de ar proveniente do exterior através do controlo das grelhas. Temperaturas superiores ao LSCT durante o período de aquecimento, que não se verificaram para a situação de referência, podem ser reduzidas através de um controlo mais rigoroso da abertura das portas e grelhas do mercado de frescos. O controlador utilizado na simulação é um controlador simples proporcional podendo originar erros elevados, pelo que numa situação real poderá ser utilizado outro tipo de controlador mais rigoroso e capaz de antecipar as alterações meteorológicas, como por exemplo um controlador antecipativo.

No período de arrefecimento as temperaturas encontram-se entre os limites de conforto térmico ou acima deste. Este comportamento é justificado, como anteriormente apresentado, pelo facto deste tipo de soluções só permitir reduzir o número de horas em que se verificam temperaturas abaixo do LICT. Quando se registam temperaturas superiores ao LSCT, as portas-automáticas e as grelhas do mercado de frescos encontram-se totalmente abertas, situação idêntica ao que se verifica na situação de referência.

Na Figura 16 é apresentada a percentagem de horas dentro dos limites de conforto térmico para a situação PAMFT e a comparação com a SR.

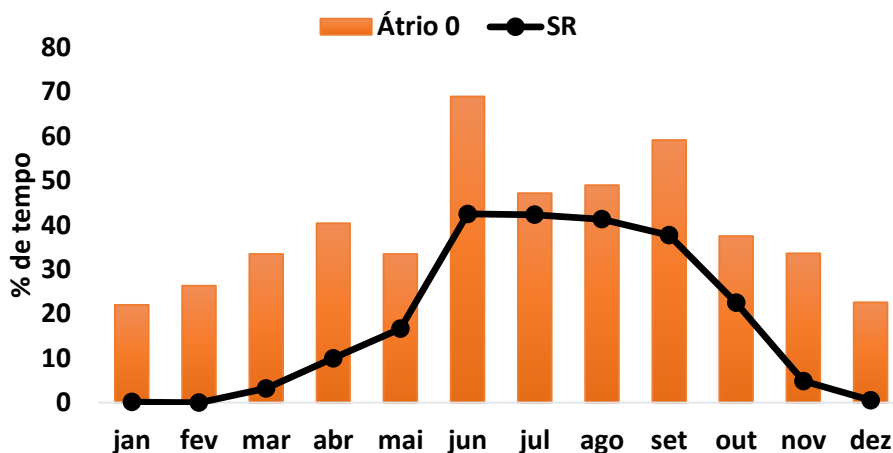


Figura 16 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de PAMFT

Como referido anteriormente, analisando os dados obtidos para o átrio do piso 0, o controlo simultâneo das portas-automáticas e das grelhas do mercado de frescos, revela-se vantajoso ao longo de todo o ano. Contudo, o seu controlo é fundamental durante os meses de novembro a fevereiro, permitindo aumentar para 20 a 30 % o número de horas em conforto térmico.

4.2.4 PAMCFT – Portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos e cobertura em função da temperatura

Nesta solução, além do controlo das portas e grelhas do mercado de frescos, é introduzido o controlo do grau de abertura das grelhas existentes na cobertura, consoante os controladores descritos na Tabela 10. Os controladores usados referentes a portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos consideraram os mesmos limites de abertura anteriormente apresentados para a situação de PAMFT. Os parâmetros do controlo das grelhas existente na cobertura foram determinados assumindo uma variação de abertura entre 5 e 100 %.

Tabela 10 - Propriedade do controlador considerado para PAMCFT

Controlador Proporcional	
Gama de temperatura (°C)	20,5 - 22,5 (período de aquecimento) 23,5 - 25,5 (período de arrefecimento)
Abertura (%)	2,5 a 100 (portas-automáticas) 7 a 100 (grelhas do mercado de frescos) 5 a 100 (grelhas da cobertura)

Os resultados obtidos são idênticos aos anteriormente registados para a situação de PAMFT e representados nas Figura 17 e Figura 18.

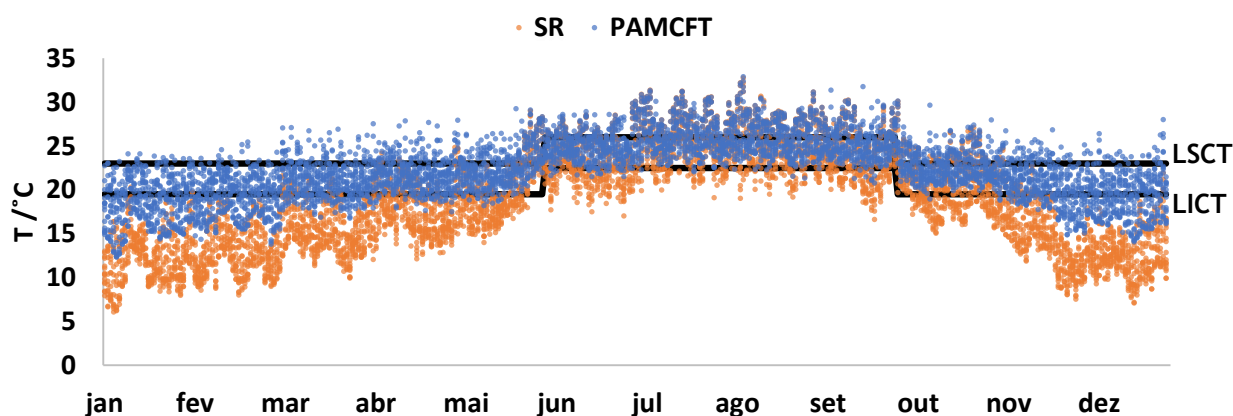


Figura 17 - História anual da temperatura para os casos PAMCFT e SR

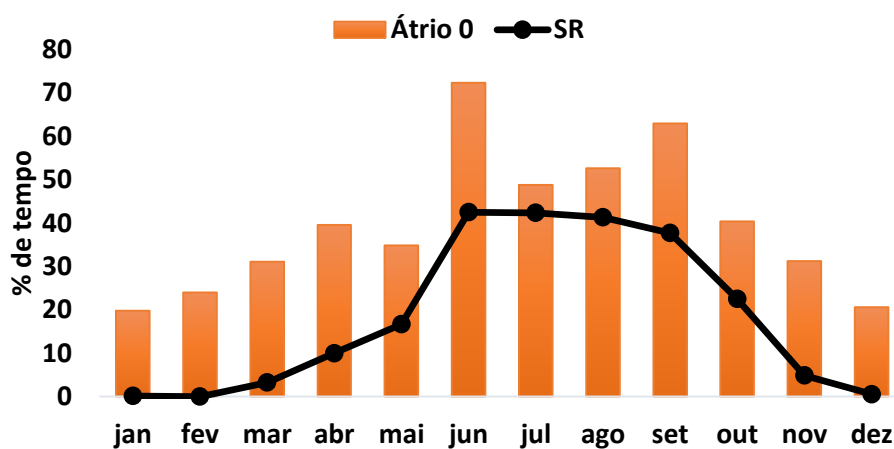


Figura 18 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de PAMCFT

A análise dos resultados obtidos é idêntica à já definida para a situação de portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos em função da temperatura apresentada no ponto anterior.

4.2.5 Comparação

Na Figura 19 e Figura 20 são representadas, respetivamente, os valores de percentagem de horas dentro dos limites temperatura de conforto térmico para cada umas das soluções analisadas e as temperaturas médias mensais do período de ocupação.

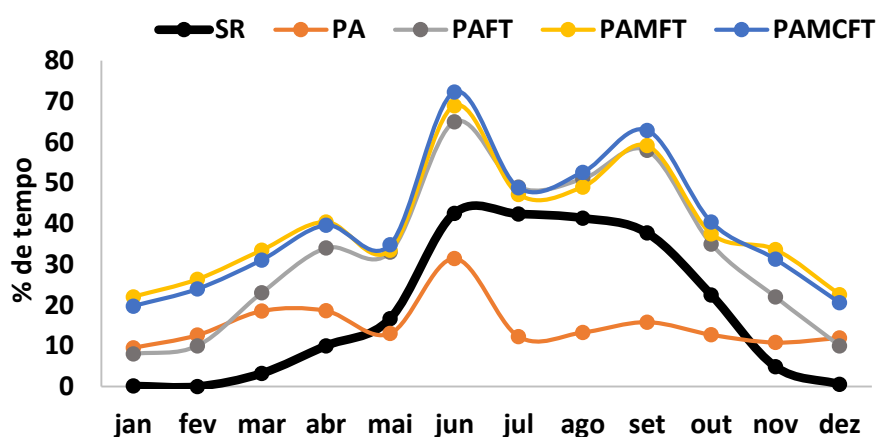


Figura 19 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de soluções de controlo das renovações de ar

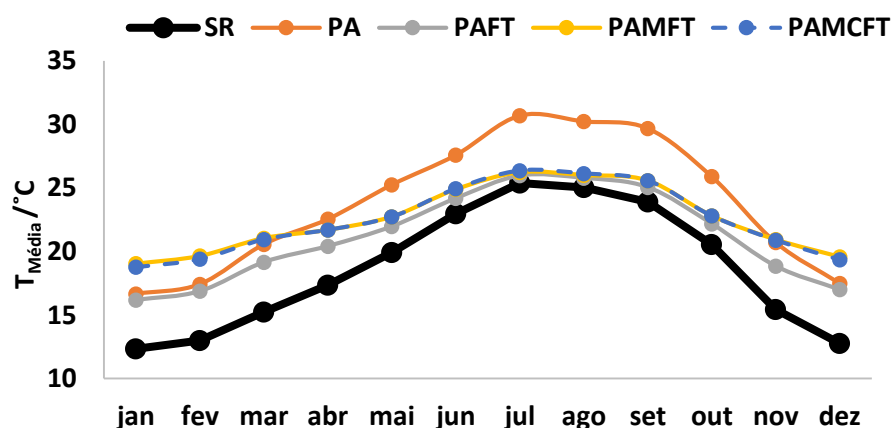


Figura 20 - Temperatura média mensal para as soluções de controlo de renovações de ar

Analisando ambas as figuras, verifica-se que a solução PA é a que apresenta menores vantagens para o aumento das condições de conforto térmico no MBS. Esta apresenta valores de percentagem de tempo dentro da gama de conforto térmico inferiores à situação de referência entre os meses de maio a outubro, evidenciando a necessidade de reduzir de forma variável o caudal de ar proveniente do exterior. Nesta situação a percentagem de horas dentro dos limites de conforto térmico varia entre 11 % para o mês de janeiro e 30 % para o mês de junho. Comparando a PA com a PAFT verifica-se que a última é mais vantajosa, apresentando percentagens de tempo dentro de conforto térmico sempre superiores que a situação PA, com excepção para os meses de dezembro e janeiro em que são semelhantes ou ligeiramente inferiores. Este facto é explicado pelo tipo de controlador usado pelo *software*, sendo que, como referido anteriormente, em situações reais outro tipo de controlador poderia minimizar estas situações. Verifica-se, para esta solução, um aumento da percentagem de tempo dentro da gama de temperaturas de conforto térmico para 10 % em janeiro e 64 % no mês de junho. Para os meses de maio a outubro, o comportamento das soluções PAFT, PAMFT e PAMCFT é idêntico em termos de temperatura média (variando entre 25 e 26 °C) e percentagem dentro da gama de conforto térmico (48 % para julho e 65 % a 72 % em junho). Para os restantes meses do ano, verifica-se que as PAMFT e as PAMCFT apresentam um comportamento idêntico, também em termos de temperatura e percentagem, contudo sempre superiores à solução PAFT, permitindo aumentar nos meses de dezembro a fevereiro a temperatura média para valores na ordem dos 19 °C a 20 °C. Desta forma, estas duas soluções apesar de apresentarem um aumento apenas para 20 % a 25 % do número de horas dentro dos limites de conforto térmico para os meses acima referidos, a temperatura média aumenta entre 6 °C a 7 °C em relação à situação de referência.

A relação entre estas três soluções indica que o controlo das grelhas do mercado de frescos é fundamental, ao contrário do controlo das grelhas da cobertura, apesar da elevada diferença de áreas. Este facto pode ser explicado devido à própria estrutura do mercado, que tende a que apenas existam correntes de ar ascendentes, ou seja, o ar proveniente do cobertura não flui para o átrio 0. Na Figura 21 são apresentados de forma esquemática os átrios e cobertura do MBS, e representadas as entradas e saídas de ar (portas e grelhas). Na figura é possível identificar que o mercado tem essencialmente 3 locais de entrada de ar proveniente do exterior: portas e grelhas a nascente e o mercado de frescos. A saída de ar interior é feita por dois locais: portas e grelhas a poente. Este comportamento pode ser explicado pela possibilidade de o ar aquecido no piso 0 e 1 ao ascender para a zona da cobertura, não arrefecer, sendo directamente expelido pelas grelhas a poente. Esta relação impede a criação de um ciclo convectivo. De forma a confirmar esta hipótese propõem-se a realização de um estudo aprofundado sobre a distribuição de circulação de ar no interior do MBS.

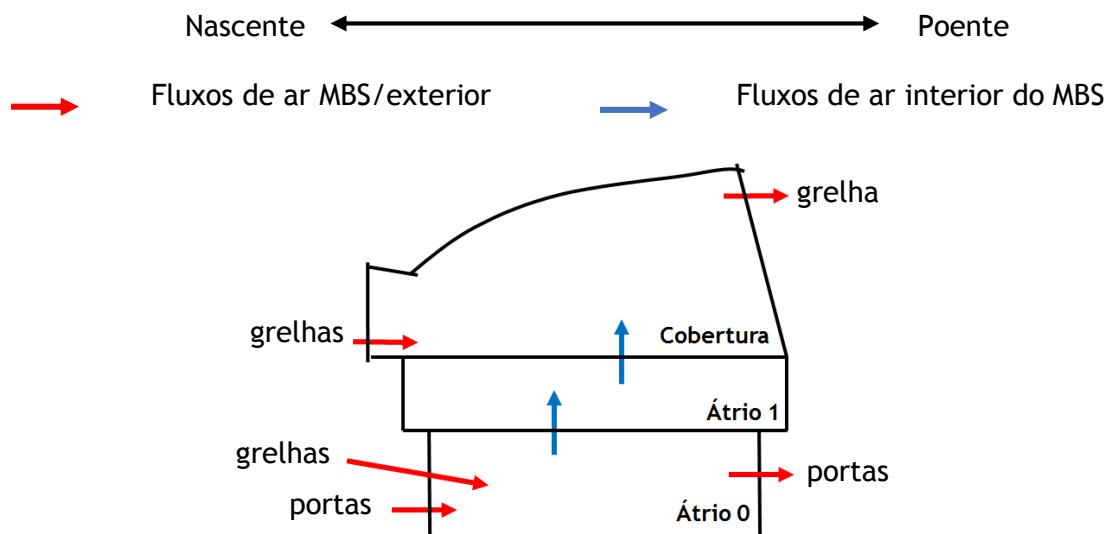


Figura 21 - Representação esquemática das entradas e saídas de ar do MBS

4.3 Soluções que não envolvem o controlo das renovações de ar

Neste grupo foi estudada a implementação de soluções que permitam o aumento de conforto térmico através de soluções estáticas. Estas soluções correspondem a elementos que seriam colocados no MBS de forma permanente, e que não são passíveis de controlo. Foi estudada a colocação de 5 tipos de elementos: tela, película refletora nos envidraçados, tintas refletoras, isolamento térmico pelo exterior (ETIC's) e elementos construtivos que mudam de fase (PCM). A tela e as películas refletoras são apresentadas de forma individual, enquanto as tintas refletoras, ETIC's e PCM, são apresentados de forma conjunta dado que não se verificou a existência de diferenças térmicas face à situação de referência.

4.3.1 TL – Tela

A aplicação deste elemento consiste na colocação de uma tela horizontal a meio do átrio do MBS. Este componente, colocado a uma altura correspondente ao início da cobertura, funcionaria com um toldo interno, ao permitir a redução da radiação solar que atinge o átrio do piso 0, contribuindo assim para o seu arrefecimento. A tela, com uma área total de 90 % da área do átrio do piso 1, permitiria uma redução 90 % da radiação solar que atinge o átrio do piso 0. Adicionalmente, a presença da tela também reduziria em 90 % a área disponível para trocas de ar entre o átrio do piso 1 e a cobertura. A tela considerada é constituída por 3 camadas: duas exteriores de alumínio e uma interior de lã de rocha. A camada superior de alumínio tem como objetivo refletir a radiação solar incidida sobre a tela, diminuindo a absorção da mesma. Em seguida, a camada de lã de rocha, isola a parte superior da parte

inferior, impedindo a condução térmica entre as duas faces. A parte inferior de alumínio tem como objetivo aumentar a refletividade da radiação emitida no átrio do piso 1 e piso 0. Desta forma a tela permite a redução da temperatura através da diminuição da radiação solar incidente. No entanto esta diminuição ocorre ao longo de todo o ano, mesmo no período de aquecimento. No sentido de compensar esta desvantagem, a camada refletiva inferior permite compensar a diminuição da radiação solar.

Na Figura 22 são apresentados os resultados obtidos por simulação, onde se observa que de uma forma geral as temperaturas ao longo de um ano são ligeiramente inferiores às obtidas para a situação de referência, mantendo-se o mesmo perfil de temperaturas.

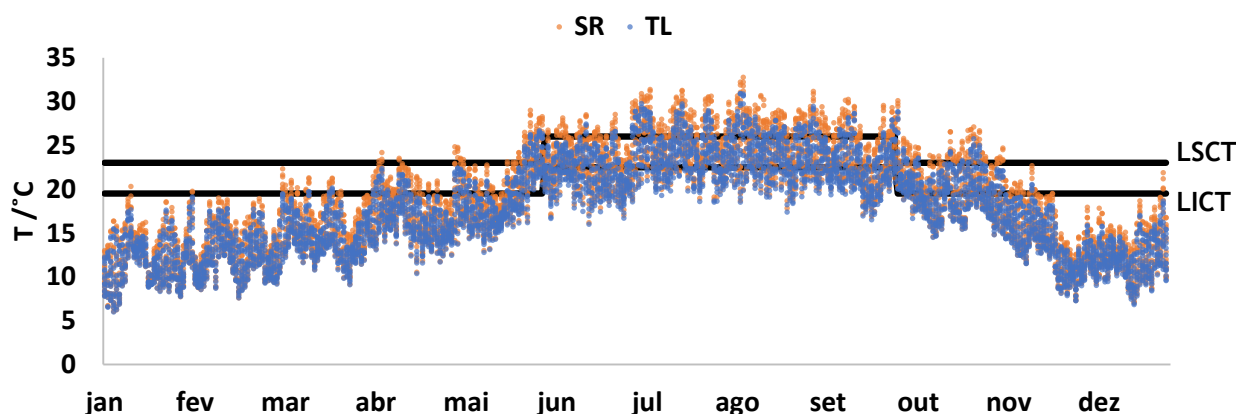


Figura 22 - História anual da temperatura para os casos TL e SR

Na Figura 23 é apresentada a percentagem de horas dentro do intervalo de conforto térmico e comparada com os valores existente na situação de referência para o átrio do piso 0. Verifica-se uma ligeira diminuição em praticamente todos os meses da percentagem de horas dentro da gama de conforto térmico. A exceção são os meses de julho, agosto e outubro, onde se verifica um aumento máximo em 3,5 % para o mês de julho.

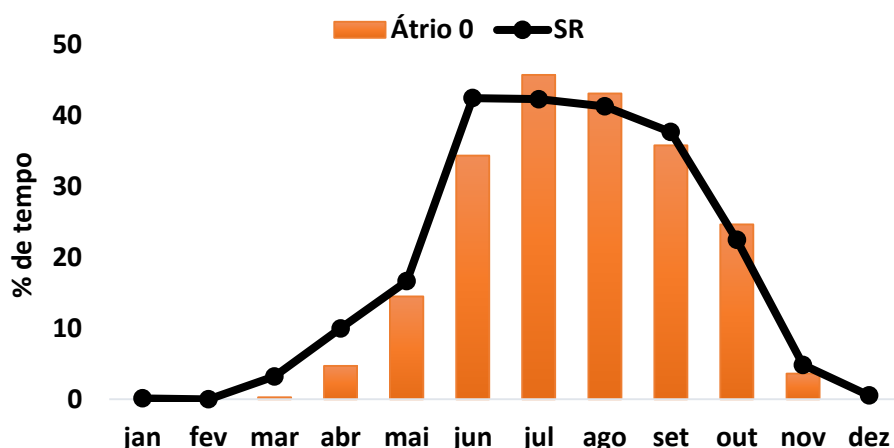


Figura 23 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de TL

4.3.2 P – Película

As películas são elementos colocados nos envidraçados e que devido às suas propriedades físicas refletem a radiação, diminuindo a transmissão da radiação através dos vidros. Foi considerada uma película aplicada apenas aos vãos poentes. A implementação desta película permite reduzir em 50 % a radiação transmitida pelos vidros do vão poente. Tendo em conta que a película é apenas aplicada nos envidraçados poentes, a radiação total transmitida por todos os envidraçadas é a apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 - Radiação total transmitida através dos vãos envidraçados com película

h	Átrio 0 (kW)				Átrio 1 (kW)			
	jan - fev	mar - mai	jun - set	out - dez	jan - fev	mar - mai	jun - set	out - dez
8	2	26	39	3	0	4	5	0
9	9	39	51	12	1	5	7	2
10	22	44	51	27	3	6	7	4
11	36	50	53	44	5	7	7	6
12	49	66	68	64	7	9	9	9
13	66	89	95	83	9	12	13	11
14	79	106	120	96	11	15	17	13
15	80	114	134	98	11	16	19	13
16	65	108	132	81	9	15	18	11
17	37	86	111	45	5	12	15	6
18	10	54	74	11	1	8	10	2
19	0	22	33	0	0	3	5	0
20	0	4	7	0	0	1	1	0

Na Figura 24 é comparada a temperatura do átrio 0 com a da situação de referência. Verifica-se que a aplicação de películas tem uma influência praticamente nula na temperatura do átrio do piso 0 do MBS.

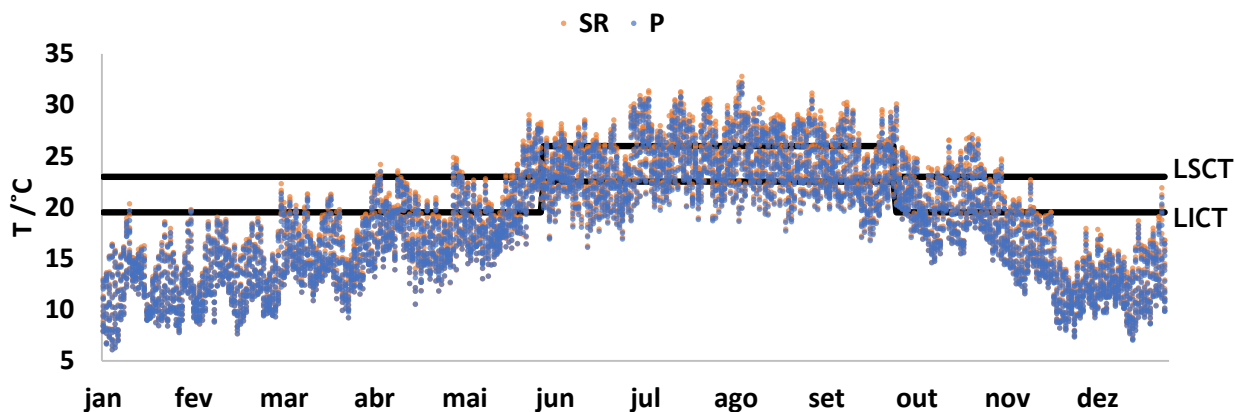


Figura 24 - História anual da temperatura para os casos P e SR

Apesar da diminuição da radiação incidente, uma vez que as portas e grelhas encontram-se totalmente abertos, o caudal de ar proveniente do exterior limita a diminuição de temperatura do átrio do piso 0. Na Figura 25 é apresentada a percentagem de horas dentro de conforto térmico, verificando-se um comportamento idêntico ao da situação de referência, apenas com pequenas diferenças (inferiores a 2 %) nos meses correspondentes ao período de arrefecimento.

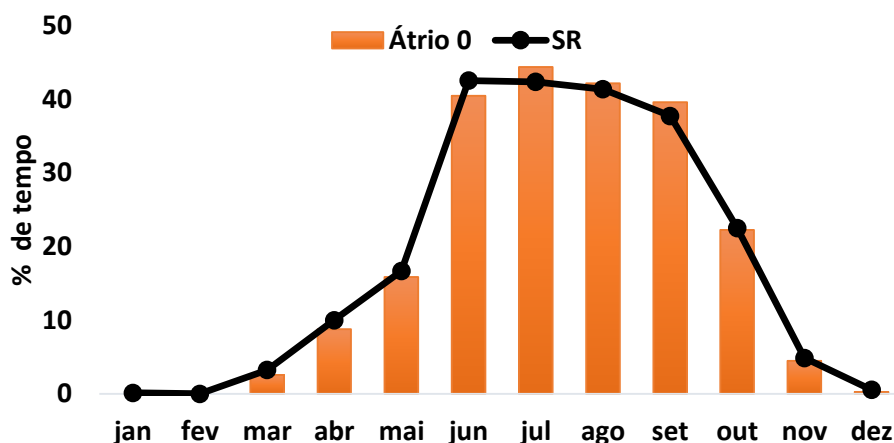


Figura 25 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de P

4.3.3 ETIC's, Tintas e PCM

A aplicação destes 3 elementos no MBS não produziu qualquer efeito na temperatura dos átrios do mesmo.

De forma a simular a aplicação dos ETIC's foi adicionada a todas as paredes exteriores do MBS (inclusivé na cobertura) uma camada de poliestireno expandido com 4 cm de espessura. Esta resistência adicional à transferência de calor não teve qualquer efeito na temperatura dos átrios do MBS. Isto pode dever-se ao facto de continuar a existir livre circulação de ar e à elevada área de envidraçados.

Na simulação com a tinta refletora, foi utilizada uma tinta com elevada refletância da radiação solar, nomeadamente 90 %. Esta tinta foi aplicada na cobertura, cuja face externa é composta por cobre. Uma vez que o cobre é um material refletivo, a aplicação da tinta não teve qualquer efeito nas temperaturas interiores, por este motivo e pelas razões já identificadas para os ETIC's.

Para a simulação dos PCM foi considerado um material composto por placas, normalmente utilizado para controlo das temperatura excessivas de verão (superiores a 26 °C) e cujas propriedades são descritas na Tabela 12 [17].

Tabela 12 - Propriedades do PCM considerado

Espessura (cm)	1,5
Densidade (kg·m ⁻²)	750
Capacidade calorífica latente (kJ·m ⁻²)	330
Temperatura de fusão (°C)	26
Área de aplicação (m ²)	800

A presença do PCM não influenciou a temperatura interior do MBS devido ao elevado volume dos átrios e ao elevado caudal de ar proveniente do exterior. Foi realizado o estudo com as portas e grelhas totalmente fechadas. Todavia, mesmo nesta situação o PCM não teve qualquer efeito, dado o aumento de temperatura provocado pelo fecho das portas e grelhas ser de tal forma elevado que a temperatura no interior do MBS foi sempre superior a 26 °C.

4.3.4 Comparação

Nesta secção é comparado o comportamento da tela e das películas refletoras, uma vez que como já referido, as restantes soluções não apresentarem diferenças em relação à situação de referência.

Analisando a Figura 26 verifica-se que a tela apresenta ao longo de todo o ano valores de percentagem de horas cuja temperatura se encontrou dentro dos limites de conforto térmico, menores ou iguais aos registados para a situação de referência, em especial para o mês de abril e junho. Apenas no mês de junho se verifica um aumento (3 %) face às condições atuais. A película apresenta um comportamento idêntico ao da situação de referência ao longo de todo o ano, exceto nos meses de julho e setembro em que é ligeiramente superior (2 %).

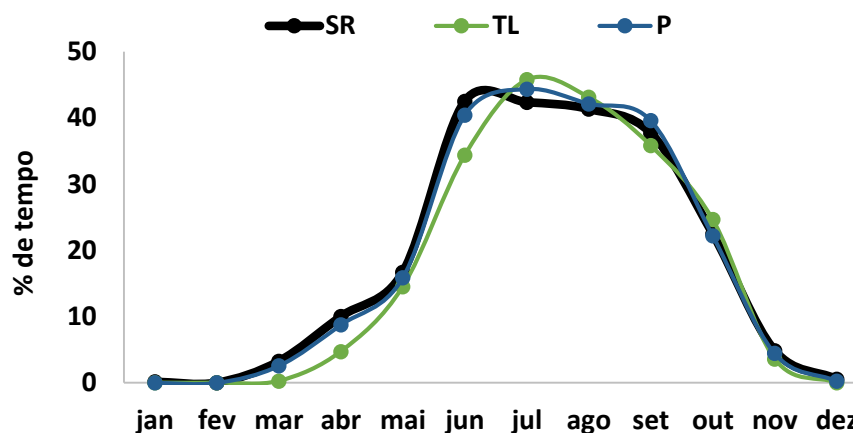


Figura 26 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso da introdução de soluções não controladoras de renovações de ar

Na Figura 27 observa-se que a implementação da tela origina uma diminuição da temperatura média do MBS, variando entre 0,4 °C em janeiro e 1,3 °C em julho. Esta diminuição de temperatura média justifica a diferença entre percentagem de horas dentro de conforto térmico no mês de junho. Para este mês as necessidades de aquecimento são superiores às de arrefecimento, e consequentemente com a diminuição da temperatura média verifica-se uma diminuição também da percentagem de horas dentro de conforto térmico. Como se verifica, a diminuição da temperatura média não implica um aumento do número de horas em condições de conforto térmico. Com a aplicação da tela, as temperaturas acima do LSCT diminuíram, mas em oposição aumentou o número de horas abaixo do LICT, reduzindo a percentagem de horas dentro das temperaturas de conforto térmico. Com a aplicação da película a temperatura média mensal do MBS permanece inalterada.

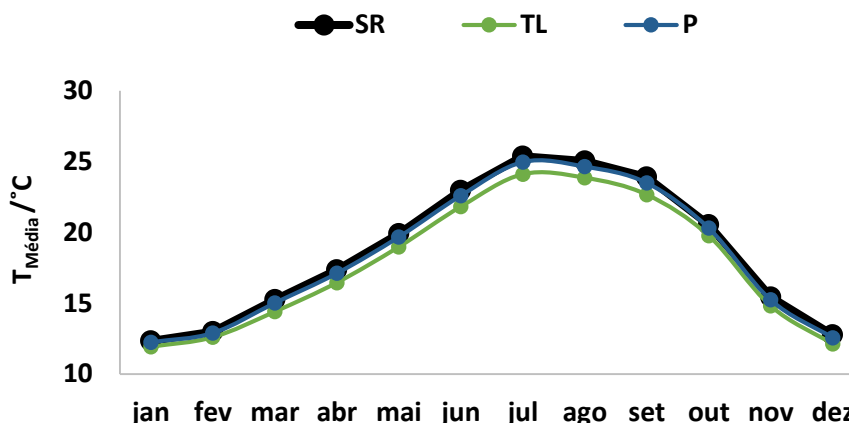


Figura 27 - Temperatura média mensal para soluções não controladoras de renovações de ar

4.4 Soluções combinadas de conforto térmico

Neste grupo são apresentados os resultados obtidos para a conjugação entre soluções controladoras de renovações de ar e soluções não controladoras de renovações de ar. Das soluções referentes a renovações de ar foi selecionada a solução com melhores resultados. Uma vez que as soluções PAMFT e PAMCFT apresentam resultados idênticos foi selecionada a primeira opção. Foi escolhida esta opção devido a esta apresentar menos elementos controlados e consequentemente de mais fácil aplicação ao MBS. Das soluções não controladoras de renovação de ar foram selecionados os dois elementos onde se verificou obter ganhos energéticos nomeadamente a tela e as películas. As duas soluções analisadas foram designadas por PAMFT+TL (Portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos em função da temperatura e tela), e PAMFT+P (Portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos em função da temperatura e película).

Na Figura 28 são representados os dados obtidos em percentagem de horas dentro de conforto térmico para as duas soluções e são comparados com os dados obtidos para a PAMFT e a SR. Verifica-se que a introdução das películas refletoras de conforto térmico não trazem ganhos significativos à PAMFT, sendo os resultados obtidos idênticos para o período de aquecimento e ligeiramente superiores para a PAMFT no período de arrefecimento. Analisando a situação PAMFT+TL observa-se que o período de aquecimento apresenta valores idênticos aos obtidos para a solução PAMFT, exceto nos meses de janeiro a março em que são ligeiramente menores em consequência da redução de radiação solar. No período de arrefecimento verifica-se um aumento da percentagem de horas, mais significativo no mês de junho onde se atingem valores de 80 % de tempo dentro de conforto térmico.

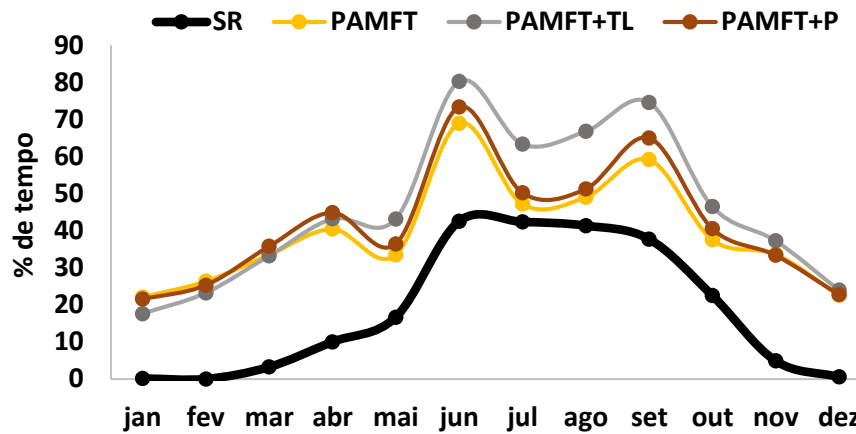


Figura 28 - Percentagem de tempo mensal dentro de conforto térmico para o caso de soluções conjuntas

Analisando a Figura 29, onde são representadas as temperaturas médias mensais, verifica-se que as temperaturas para a PAMFT e a PAMFT+P são idênticas em todo o ano, variando entre 19 °C em janeiro e 25 °C em junho. A temperatura da solução PAMFT+TL é ligeiramente mais baixa que para a solução PAMFT+P em todos os meses, exceto dezembro e janeiro em que é idêntica.

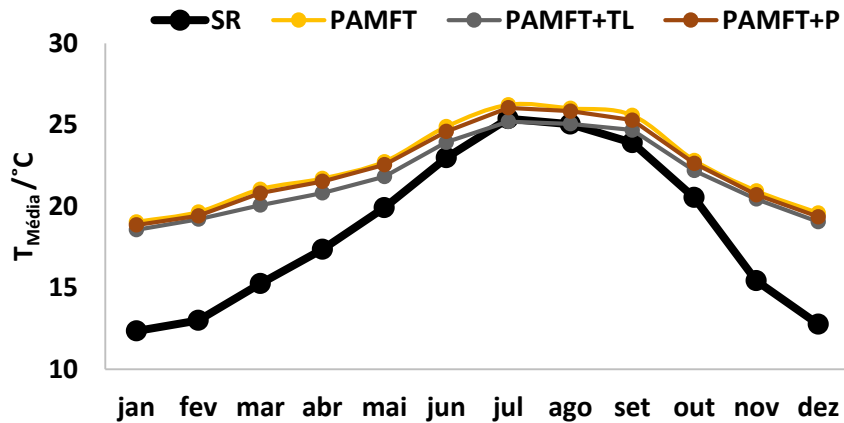


Figura 29 - Temperatura média mensal para as soluções conjuntas

5 Conclusões

O trabalho desenvolvido permitiu concluir que é possível melhorar significativamente as condições de conforto térmico existentes no MBS usando soluções passivas. Verificou-se que na situação de referência, ao contrário do esperado, o MBS apresenta situações mais críticas de conforto térmico no inverno (temperatura média no mês de janeiro de 12 °C e mínima de 6,1 °C) do que no verão (temperatura média de 26 °C e máximas de 32,8 °C para o mês de julho).

Foram estudados 3 grupos de soluções passivas de conforto térmico: soluções controladoras de renovações de renovação de ar, soluções não controladoras de renovação de ar e soluções conjuntas. As soluções controladoras de renovações de ar mostraram-se essenciais para o aumento das condições de conforto térmico do interior do Mercado do Bom Sucesso, em especial no período de inverno. As soluções não controladoras de renovações de ar interior revelaram possuir pouca relevância no aumento do conforto térmico do MBS. Por fim as soluções conjuntas mostraram trazer vantagens em relação às soluções independentes, verificando-se o aumento dos níveis de conforto térmico para o período de verão.

Para as soluções de controlo das renovações de ar, a situação portas-automáticas foi a que apresentou piores resultados, pois apesar de aumentar as condições de conforto térmico em relação à situação de referência no inverno, verifica-se o oposto no período de verão. A solução de portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos em função da temperatura, e a solução de portas-automáticas, grelhas do mercado de frescos e da cobertura, permitiram o aumento das condições de conforto térmico durante todo o ano, apresentando valores idênticos. Assim conclui-se que a opção mais vantajosa deste grupo é a solução de portas-automáticas e grelha do mercado de frescos que permitiu um aumento da temperatura média no MBS no período de inverno em 7 °C. Na situação de soluções que não envolvem o controlo de renovações de ar, a aplicação de uma tela revelou melhores resultados, permitindo no verão diminuir a temperatura máxima registada em 2 °C. Esta solução apresenta a desvantagem de também diminuir a temperatura no período de inverno. As outras soluções estudadas para este grupo (tintas refletoras, ETIC's, películas semitransparentes) revelaram-se pouco influentes na melhoria das condições de conforto térmico do MBS.

Analisando as soluções conjuntas, a aplicação de uma tela e de portas-automáticas e grelhas do mercado de frescos em função da temperatura mostrou-se ser mais vantajosa, ao não levar a uma diminuição da temperatura no período de inverno tão significativa como ocorria para a aplicação apenas da tela.

Desta forma conclui-se que os objetivos inicialmente definidos foram atingidos, ao dotar o MBS de técnicas passivas que permitam aumentar o seu conforto térmico. Não se verificou a situação ideal de obtenção de 100 % de tempo dentro dos limites de conforto térmico para todo o ano, todavia para os meses de inverno a temperatura no interior do MBS aumentou significativamente. Para os meses de verão, o aumento da percentagem de horas dentro de conforto térmico foi significativo, sendo possível atingir valores superiores com outras soluções que não foram possíveis de serem simuladas, por limitações da aplicação.

Apesar do trabalho realizado ser considerado um trabalho académico conclui-se que as informações adquiridas ao longo do projeto são importantes para a empresa Mota-Engil Engenharia, sendo que algumas das opções analisadas foram implementadas no MBS (portas-automáticas). Na opinião do autor, de forma a melhorar as condições de conforto térmico, deve-se realizar um estudo mais detalhado da aplicabilidade das referidas soluções, uma vez que estas constituem uma solução eficaz e de baixo custo.

Demonstra-se ainda a aplicabilidade de soluções passivas de conforto térmico a edifícios já existente, de forma a melhorar o seu conforto térmico ou a diminuir as necessidades energéticas de aquecimento/arrefecimento do mesmo. Estas soluções são aplicáveis numa vasta gama de climas e países, tendo sido demonstrada a sua aplicabilidade a edifícios com uma arquitetura menos tradicional. Estas soluções, ao constituírem uma alternativa aos equipamentos de conforto térmico consumidores de energia elétrica como o ar condicionado, contribuem de forma significativa para a diminuição da emissão de gases de efeito de estufa como o CO₂.

5.1 Limitações e Trabalho Futuro

A modelação do MBS foi condicionada pela inexistência de informação sobre os materiais usados, perfis e cargas térmicos do MBS, tendo sido necessário recorrer a valores presentes na legislação não correspondentes à situação real.

O simulador usado apresenta limitações na sua aplicação ao MBS devido à estrutura do mesmo, uma vez que este não permite a determinação de gradientes verticais para situações de pé direito elevado. De forma a colmatar esta situação, foram consideradas 3 zonas distintas, contudo verificou-se a dificuldade associada à transferência de radiação solar entre zonas. A validação de resultados, comparando os dados obtidos pelo simulador com os dados reais obtidos pelas sondas, foi efetuada apenas para condições de inverno. Seria vantajoso comparar os dados reais e os obtidos pelo simulador para os meses de verão. Igualmente benéfico para uma rigorosa modelação do MBS seria a realização de um estudo computacional da dinâmica de distribuição e circulação de ar, uma vez que o modelo estudado é bastante simplificado.

Não foi possível estudar outras soluções de conforto térmico, como por exemplo a aplicação de brumizadores (mecanismos que permitam a nebulização de água) durante os períodos de temperatura mais elevada. Esta solução não foi analisada a por não ser possível a sua simulação no programa utilizado. Esta solução permitiria um abaixamento da temperatura devido ao calor latente de vaporização absorvido pela água na passagem de estado físico de líquido a vapor. Esta solução, em associação com outras soluções estudadas, permitiria obter mais valores de temperatura dentro dos limites de conforto térmico aumentando a percentagem de horas no período de arrefecimento, cuja temperatura se encontra dentro dos limites de conforto térmico.

5.2 Avaliação Final

O projeto correu de forma positiva apesar das limitações encontradas.

O facto do tema do trabalho desenvolvido encontrar-se fora da especificidade das empresas e dos intervenientes envolvidos foi um aspeto negativo. A aplicação usada devido à sua fraca usabilidade por utilizadores menos experientes foi também um dos pontos negativos neste trabalho.

Superando os aspetos negativos mencionados, para mim foi bastante benéfico todo o processo de autoaprendizagem e os conhecimentos adquiridos ao longo do trabalho. Revelou-se também bastante positivo realizar um projeto que tem aplicações reais a curto prazo e de extrema importância para as empresas envolvidas no projeto.

6 Referências

- [1] “American society of heating refrigeration and air conditioning engineers,” [Online]. Available: <https://www.ashrae.org/>. [Acedido em 10 2013].
- [2] “Mercado do Bom Sucesso,” Mercado Urbano. [Online]. [Acedido em 10 2013].
- [3] “Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico,” [Online]. Available: www.igespar.pt. [Acedido em 11 2013].
- [4] “Portaria n.º 250/2011,” *Diário da Republica*, 25 1 2011.
- [5] “Grupo Mota-Engil,” [Online]. Available: <http://www.mota-engil.pt/>. [Acedido em 21 1 2014].
- [6] “CIN,” [Online]. Available: <http://www.cin.pt/>. [Acedido em 01 2014].
- [7] M. P. N. Águas, *Conforto térmico - modulo da disiciplina de Mestrado de métodos instrumentais em ambiente energia, IST*, 2011.
- [8] “Health and Safety Executive,” [Online]. Available: <http://www.hse.gov.uk/>. [Acedido em 11 2013].
- [9] K. Perini, “The Integration of Vegetation in Architecture, Vertical and Horizontal,” *International Journal of Biology*, vol. 4, 2012.
- [10] P. I. Zareie, “Wind Catchers - The Cooling Systems In Traditional Iranian Architecture,” [Online]. Available: <http://www.cais-soas.com/>. [Acedido em 11 2013].
- [11] J. Biddle, “Explaining the spread of residential air conditioning, 1955-1980,” *Explorations in Economic History*, vol. 45, p. 402-423, 2008.
- [12] University of South Florida, [Online]. Available: <http://exhibits.lib.usf.edu/exhibits/show/discovering-florida/technology/air-conditioning>. [Acedido em 11 2013].
- [13] Prof.^a Inês Flores-Colen et al, “Paredes - Apontamentos de Tecnologia da Construção de Edifícios do Mestrado Integrado em Engenharia Civil,” Instituto Superior Técnico.
- [14] D. Samuel et al, “Passive alternatives to mechanical air conditioning of building;,” *Building and Environment*, vol. 66, p. 54 a 64, 2013.

- [15] “Seminários de Inovação: “Arquitectura Bioclimática: Perspectivas de inovação e futuro”,” Instituto Superior Técnico, 2004.
- [16] D. G. S. Wijewardane, “A review on surface control of thermal radiation by paints and coatings for new energy applications,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, p. 1863- 1873, 2012.
- [17] BASF - The Chemical Company, “Micronal PCM - Intelligent Temperature Management for Buildinds,” 2012.
- [18] Window Film Association of Australia and New Zealand, [Online]. Available: <http://www.wfaanz.org.au/>. [Acedido em 11 2013].
- [19] R. L. Xing Shi, “EIFS in China - History, Codes and Standards, Features, and Problems,” *Physics Procedia*, vol. 24, p. 450 - 457, 2012.
- [20] T. Kusuda, “EARLY HISTORY AND FUTURE PROSPECTS OF BUILDING SYSTEM SIMULATION,” *Proceedings of Building Simulation*, vol. 1, pp. 3-16, 1999.
- [21] J A Clarke et al, “Integrated Building Simulation: State-of-the-Art”.*ESRU, University of Strathclyde*.
- [22] “TRNSYS,” University of Wisconsin-Madison, [Online]. Available: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/features/features.html>. [Acedido em 11 2013].
- [23] “EnergyPlus Energy Simulation Software,” U.S. Department of Energy, [Online]. Available: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. [Acedido em 11 2013].
- [24] “Decreto-Lei n.o 79/2006,” *Diário da República*, 4 4 2006.

Anexo 1 Propriedades das zonas modeladas

Classificação e caracterização de cada uma das zonas modeladas quanto ao seu tipo, classificação energética e renovação de ar. Cada zona é classificada quanto ao seu tipo (loja interna/externa, hotel, escritórios, fundação, mercado, átrio ou zona técnica). As zonas técnicas englobam também zonas de passagem que não são explicitamente definidas por uma das categorias anteriormente apresentadas. Para a classificação energética foram definidos 4 categorias de zonas (pequeno comércio, restauração, mercado e centro comercial). A classificação como AVAC significa que estas zonas são climatizadas, logo não foi necessário definir um perfil de cargas térmicas. O critério renovação de ar indica o limite mínimo de renovação de ar exigido pelo regulamento RSECE, sendo que para as situações de REA - Rede de escoamento de ar, não é apresentado este valor.

Tabela 13 - Classificação e caracterização das zonas da cobertura e piso 1

		Volume (m ³)	Área (m ²)	Tipo	Classificação energética	Renovação de Ar (m ³ ·h ⁻¹ ·m ⁻²)	
Cobertura	A	4090	1850	Escritórios	AVAC	-	Figura 30
	B	16650	2775	Hotel	AVAC	-	
	C	7650	982	Átrio	-	REA	
	D	11200	2310	Átrio	-	REA	
	E	11900	1540	Átrio	-	REA	
Piso 1	A	761	211	L. exterior	P. Comércio	5	Figura 31
	B	537	149	L. exterior	P. Comércio	5	
	C	285	79	L. interna	P. Comércio	5	
	D	588	163	L. interna	P. Comércio	5	
	E	1710	475	Hotel	AVAC	-	
	F	4420	1230	Fundação	AVAC	-	
	G	596	166	Hotel	AVAC	-	
	H	2580	715	Hotel	AVAC	-	
	I	1830	509	Hotel	AVAC	-	
	J	326	91	A. técnica	-	5	
	K	661	183	L. interna	P. Comércio	5	
	L	821	228	A. técnica	-	5	
	M	590	164	Hotel	AVAC	-	
	1	6180	1720	Átrio	Centro-comercial	REA	

Tabela 14 - Classificação e caracterização das-zonas do piso 0 e complementares

		Volume (m ³)	Área (m ²)	Tipo	Classificação energética	Renovação de Ar (m ³ ·h ⁻¹ ·m ⁻²)	
Piso 0	B	546	149	L. exterior	P. Comércio	5	Figura 32
	C	133	36	L. exterior	P. Comércio	5	
	D	975	266	L. interior	P. Comércio	5	
	E	547	149	L. interior	Restauração	35	
	F	329	89	A. técnica	-	5	
	G	187	51	A. técnica	-	5	
	H	4520	1230	Hotel	AVAC	-	
	I	292	79	L. interior	P. Comércio	5	
	J	451	123	L. interior	P. Comércio	5	
	K	549	150	L. exterior	P. Comércio	5	
	L	807	220	L. exterior	P. Comércio	5	
	M	693	189	L. interior	Restauração	35	
	N	448	122	A. técnica	-	5	
	O	449	122	Fundação	AVAC	-	
	P	217	59	A. técnica	-	REA	
	Q	281	77	A. técnica	-	5	
	R	968	264	M. de Frescos	Mercado	REA	
	S	2170	592	M. de Frescos	Mercado	REA	
	T	353	96	A. técnica	-	REA	
	U	130	35	L. interior	P. Comércio	5	
	V	787	215	A. técnica	-	5	
	X	135	36	L. exterior	P. Comércio	REA	
	Y	404	110	A. técnica	-	5	
	W	244	66	A. técnica	-	5	
	Z	241	66	A. técnica	-	5	
	O	4610	1256	Átrio	Centro-Comercial	REA	
Complementares	-1	3890	1300	A. técnica	-	5	Figura 33
	A	-	-	Zona envolvente	-	-	
	B	-	-	Zona envolvente	-	-	

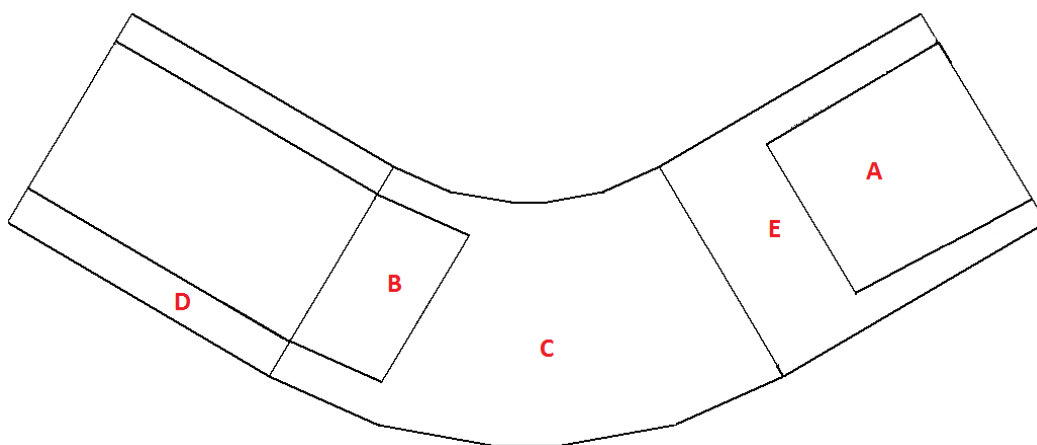


Figura 30 - Representação esquemática da modelação da cobertura

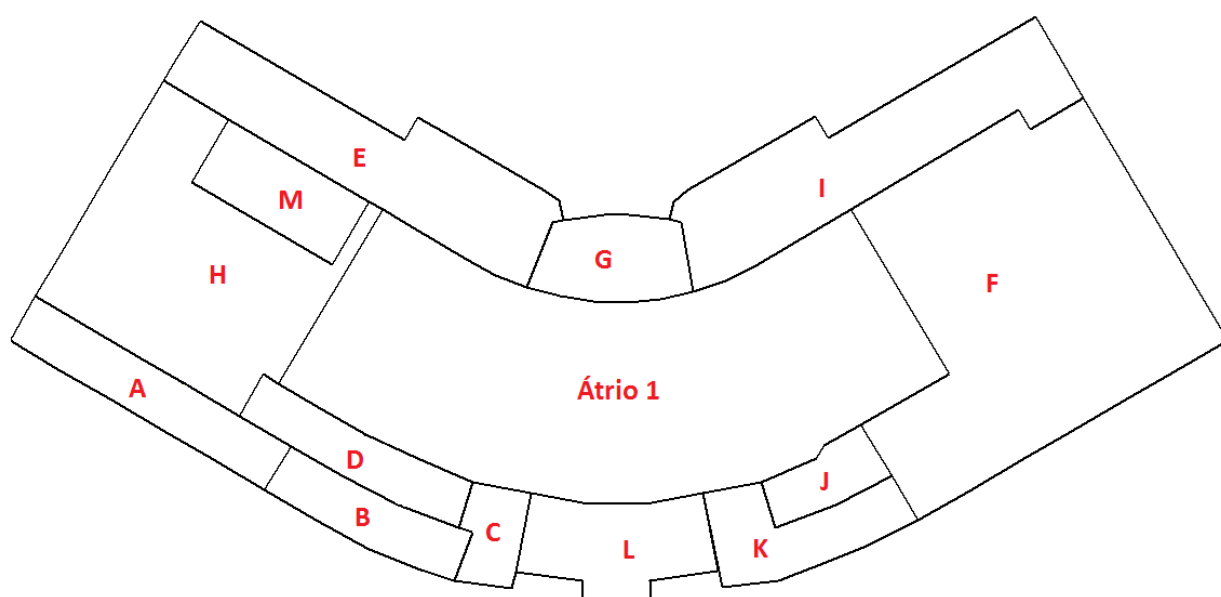


Figura 31 - Representação esquemática da modelação do piso 1

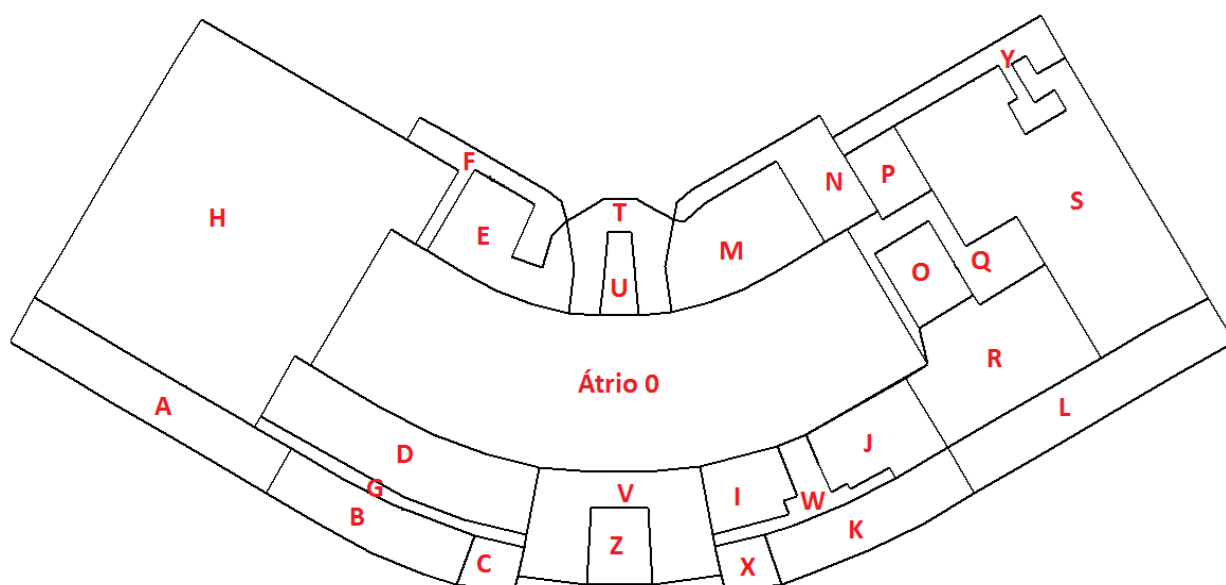


Figura 32 - Representação esquemática da modelação do piso 0

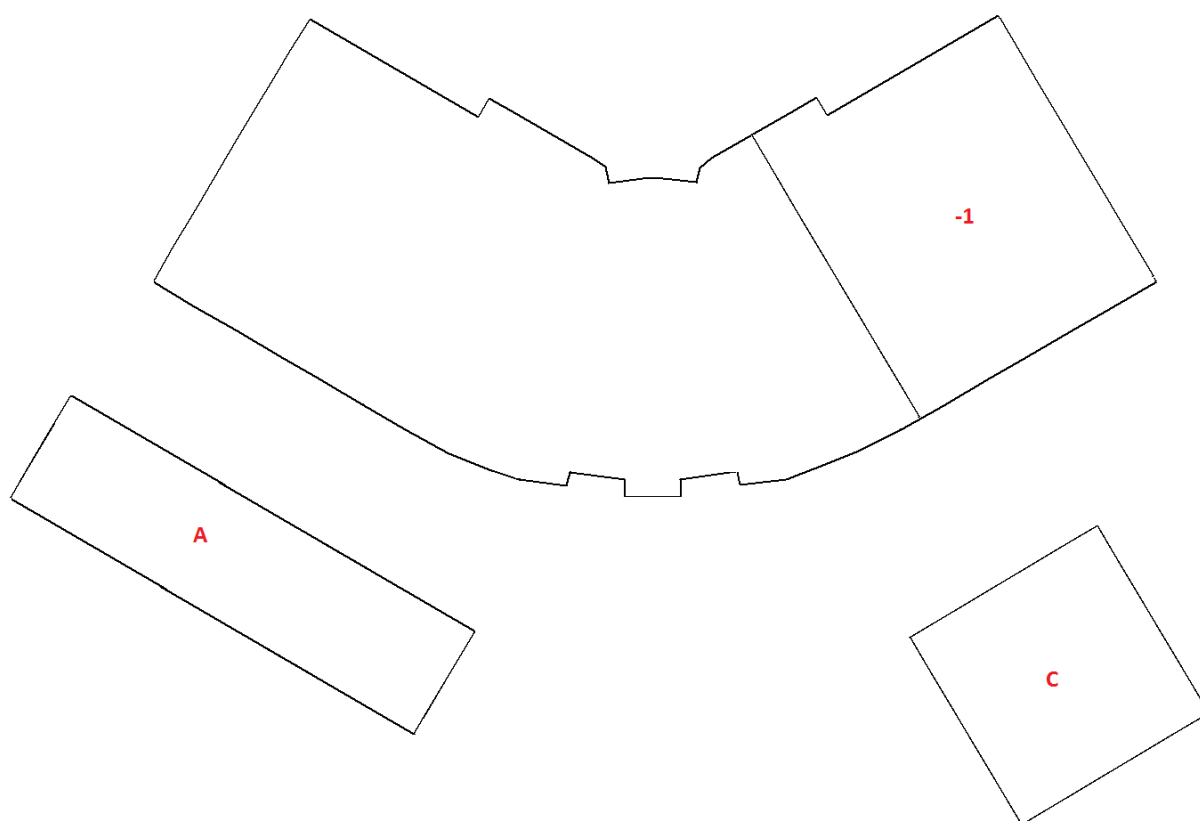


Figura 33 - Representação esquemática da modelação das zonas complementares

Anexo 2 Fachadas

Fachada	Materiais	Espessura (m)
Base Piso 0	Betão	0,25
	Asfalto	0,10
	Gravilha	0,30
	Terra	0,90
Topo Piso 0	Betão	0,27
Topo Piso 1	PVC	0,003
	Betão	0,20
Cobertura	Cobre	0,006
	Betão	0,32
Parede de Pedra	Granito	0,45
Lojas Exteriores	Vidro	0,00065
Lojas Interiores	Vidro	0,12
Vidros Cobertura (Nascente)	Vidro	0,06
Vidros Cobertura (Poente)	Vidro	0,18
Parede Interna	Reboco	0,01
	Tijolo	0,11
	Reboco	0,01
Parede Externa	Reboco	0,01
	Tijolo	0,22
	Reboco	0,01

Anexo 3 Perfil de cargas térmicas

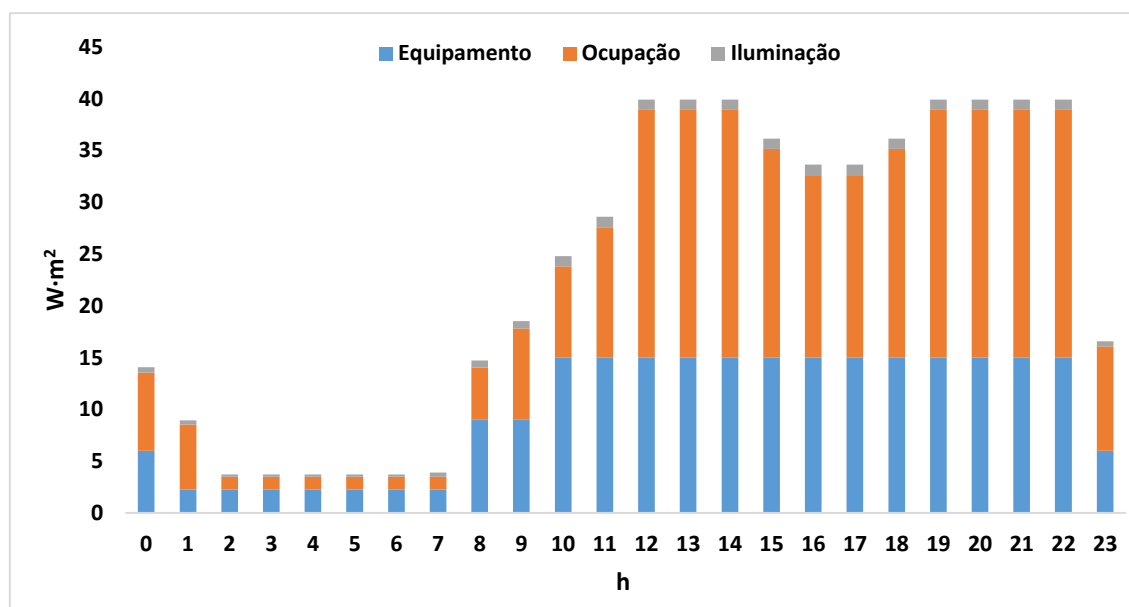


Figura 34 - Perfil de cargas térmicas definido para centro comercial

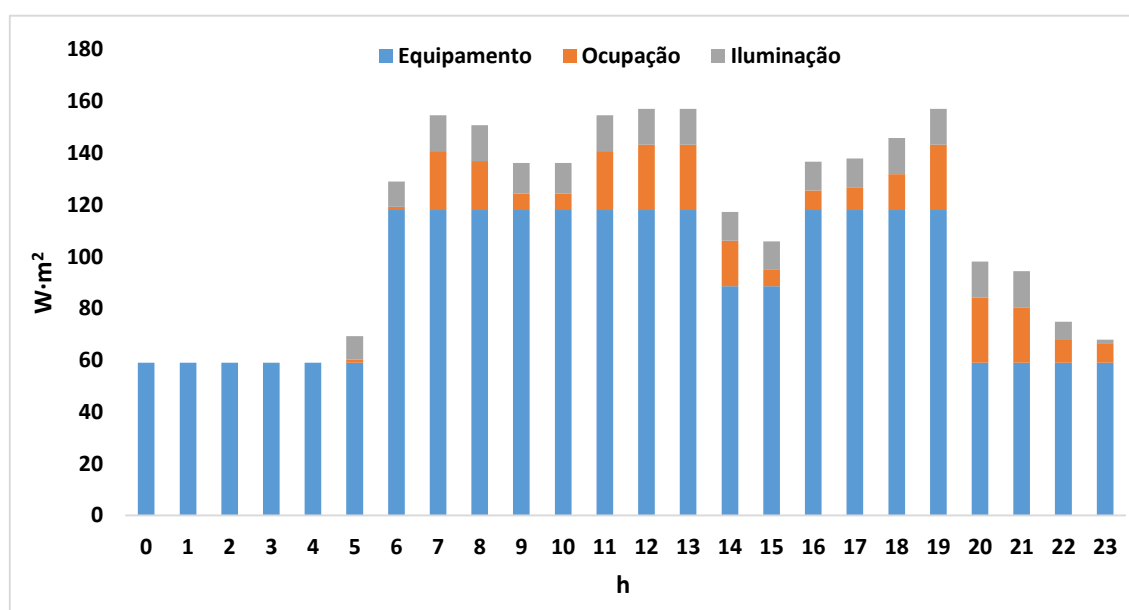


Figura 35 - Perfil de cargas térmicas definido para restauração

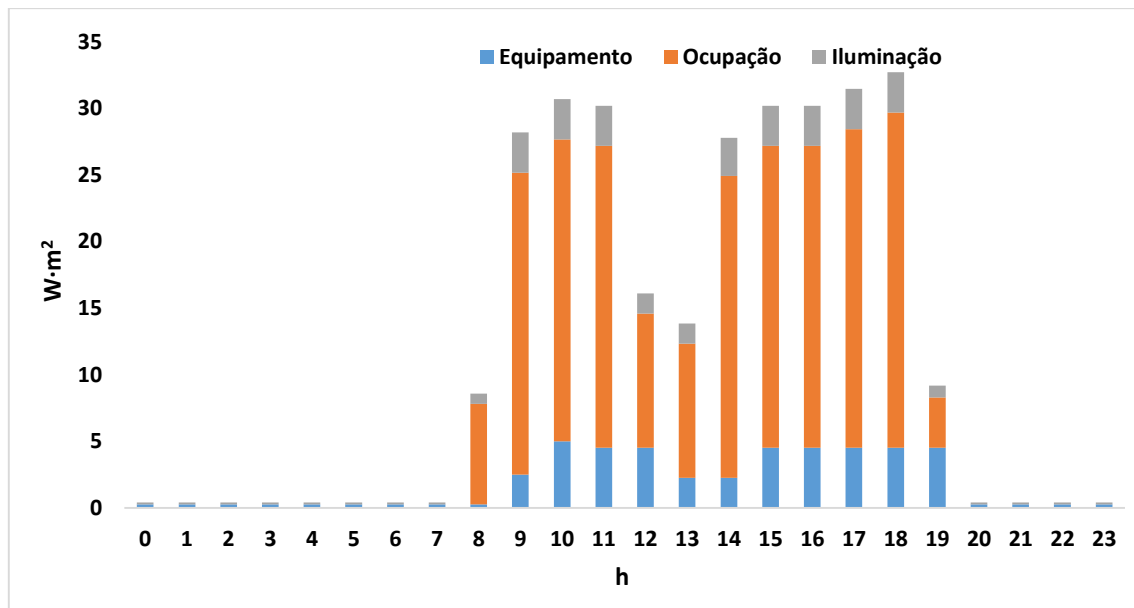


Figura 36 - Perfil de cargas térmicas definido para pequeno comércio

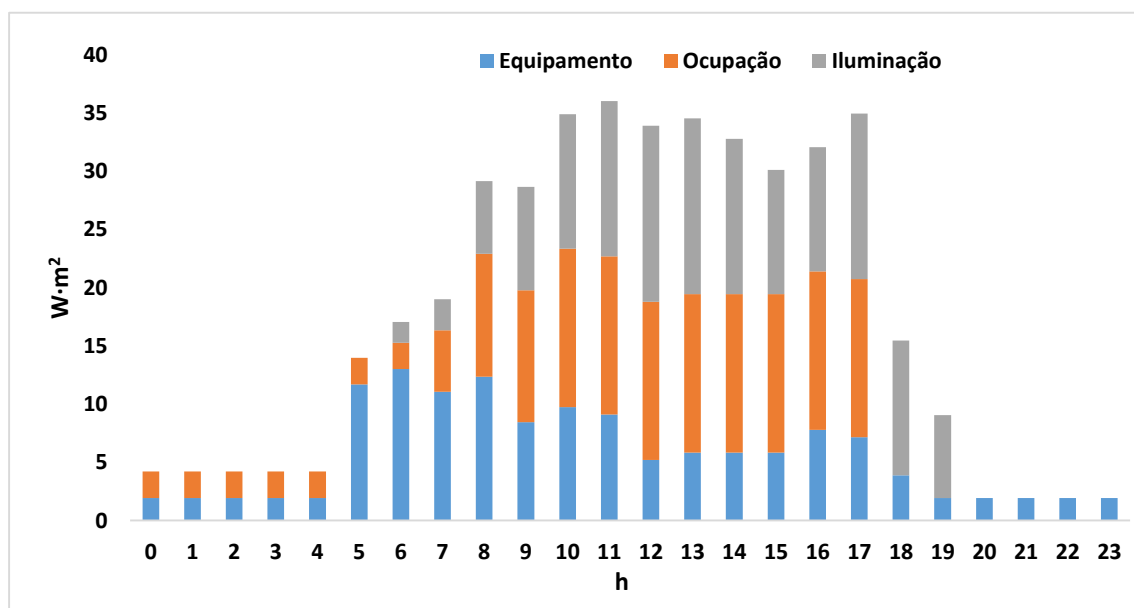


Figura 37 - Perfil de cargas térmicas definido para mercado de frescos

Anexo 4 REA - Rede de escoamento de ar

Tabela 15 - Dados referentes à rede de escoamento de ar criada na modelação do MBS

Nó inicial	Nó final	Componente de ligação	Área- (m ²)
Ext_E	P0_T	G	8
P0_V	Ext_O	A	8
Atrio_0	P0_V	C	23
P0_T	Atrio_0	D	12
P0_R	Atrio_0	H	11
P0_O	Atrio_0	I	67
P0_S	P0_O	J	28
P0_S	P0_R	K	46
Ext_S	P0_S	L	8
Atrio	Atrio_1	M	818
Atrio_1	Cob_A	N	300
Atrio_1	Cob_B	O	998
Atrio_1	Cob_C	R	110
Cob_B	Cob_A	Q	200
Cob_B	Cob_C	R	200
Cob_B	Ext_2E	S	8
Cob_B	Ext_2O	T	22
Cob_A	Ext_1E	U	6
Cob_A	Ext_1O	V	19
Cob_C	Ext_3E	X	6
Cob_C	Ext_3O	Z	19

Anexo 5 Distribuição de radiação solar

Tabela 16 - Distribuição de radiação solar no átrio do piso 0 e 1

h	Átrio 0 (kW)				Átrio 1 (kW)			
	Meses							
	jan-fev	mar-mai	jun-set	out-dez	jan-fev	mar-mai	jun-set	out-dez
8	3	37	56	4	0	5	8	1
9	13	56	72	17	2	8	10	2
10	32	63	73	38	4	9	10	5
11	51	71	76	63	7	10	11	9
12	69	94	97	92	10	13	13	13
13	94	127	135	119	13	18	19	16
14	113	152	172	137	16	21	24	19
15	114	162	192	140	16	22	26	19
16	93	154	189	116	13	21	26	16
17	53	123	159	65	7	17	22	9
18	14	78	106	16	2	11	15	2
19	0	31	48	1	0	4	7	0
20	0	5	11	0	0	1	1	0